

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO ESTATÍSTICO DE PRODUÇÃO DE  
CONCRETOS COM ADIÇÕES MINERAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Paulo Ricardo de Vargas Furquim**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

# **ESTUDO ESTATÍSTICO DE PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM ADIÇÕES MINERAIS**

**por**

**Paulo Ricardo de Vargas Furquim**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Materiais de Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO ESTATÍSTICO DE PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM  
ADIÇÕES MINERAIS**

elaborada por  
**Paulo Ricardo de Vargas Furquim**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Geraldo Cechella Isaia, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, Dr. (UFRGS)**

---

**Tatiana Cureau Cervo, Dr. (UFSC)**

Santa Maria, 24 de março de 2006.

“Obstáculos são aquelas coisas difíceis que você vê quando tira os olhos do seu objetivo.”

(Henry Ford)

À minha esposa Alexandra e minha filha Luísa, pois sem a dedicação de vocês este sonho não teria se realizado. Obrigado pelo carinho, compreensão e incentivo que sempre me dedicaram.

## AGRADECIMENTOS

Demonstro aqui a minha gratidão:

- ao Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia, pela orientação competente, segura e constante, sempre com cortesia e disponibilidade para o desenvolvimento deste trabalho;
- ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho pela disponibilidade, auxílio e inúmeras contribuições na análise estatística dos resultados;
- a Dr. Tatiana Cureau Cervo pela disponibilidade de participar da banca examinadora;
- ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, que propiciou a realização deste trabalho e também a todos os alunos e professores deste Curso, que ajudaram a criar um ambiente agradável e apropriado para estudo e pesquisa;
- a Universidade Federal de Santa Maria, por viabilizar a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil;
- a minha esposa Alexandra, companheira intelectual de todos os momentos desta caminhada;
- aos meus pais Paulo e Ana, sem aos quais certamente não teria obtido êxito. Pessoas que sempre estiveram presentes ao meu lado, dedicando carinho, atenção e amor;
- a DEUS, que me acompanha em todos os passos, longo e tortuoso, porém compensador, caminho da vida;
- enfim, a todos que me ajudaram na elaboração deste trabalho.

Muito obrigado!

# SUMÁRIO

|   |       |
|---|-------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....   | vi    |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....   | x     |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....   | xiii  |
| <b>LISTA DE ANEXOS</b> .....  | xv    |
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....   | xviii |
| <b>RESUMO</b> .....   | xx    |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | xxi   |
| <br>  |       |
| <b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b> .....  | 1     |
| 1.1 Importância e justificativa do tema .....   | 3     |
| 1.2 Objetivos .....   | 5     |
| 1.3 Estrutura da dissertação.....   | 6     |
| <br>  |       |
| <b>CAPÍTULO II – A MICROESTRUTURA E A DURABILIDADE DO CONCRETO<br/>COM ADIÇÕES MINERAIS</b> ..... | 7     |
| 2.1 Introdução .....  | 7     |
| 2.2 Influência das adições minerais no concreto .....   | 8     |
| 2.2.1 Sílica ativa .....  | 9     |
| 2.2.2 Escória de alto forno.....  | 10    |
| 2.2.3 Cinza volante .....   | 11    |
| 2.2.4 Cinza de casca de arroz .....   | 12    |
| 2.2.5 Filler calcáreo .....   | 13    |
| 2.2.6 Cal hidratada .....   | 14    |
| 2.3 Ativadores químicos .....   | 15    |
| 2.4 Variáveis da microestrutura e durabilidade .....  | 16    |
| 2.4.1 Variáveis da microestrutura do concreto .....   | 16    |
| 2.4.1.1 Estrutura dos poros .....   | 16    |
| 2.4.1.2 Teor de água combinada .....  | 18    |
| 2.4.1.3 Teor de hidróxido de cálcio remanescente .....  | 19    |
| 2.4.2 Variáveis da durabilidade do concreto.....  | 20    |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.2.1 Relação água/aglomerante.....   | 20        |
| 2.4.2.2 Resistência à compressão.....   | 22        |
| 2.4.2.3 Carbonatação do concreto .....  | 24        |
| 2.4.2.4 Permeabilidade do concreto .....  | 26        |
| 2.4.2.5 Penetração de cloretos.....   | 28        |
| 2.4.2.6 Teor de cloretos retidos totais.....  | 28        |
| 2.4.2.7 Relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....  | 29        |
| <b>2.5 Considerações sobre pesquisas que utilizaram modelos matemáticos ...</b>                         | <b>31</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>3.1 Variáveis dos projetos em estudo.....</b>  | <b>37</b> |
| 3.1.1 Variáveis do Projeto 1POZ (efeitos físicos e pozolânicos) .....                                   | 38        |
| 3.1.2 Variáveis do Projeto 2CAL (efeitos da cal hidratada) .....  | 39        |
| 3.1.3 Variáveis do Projeto 3ATI (efeito de ativadores) .....  | 41        |
| 3.1.4 Variáveis do Projeto 4FIN (efeito da finura) .....  | 42        |
| 3.1.5 Variáveis do Projeto 5CAR (efeitos na carbonatação) .....   | 43        |
| <b>3.2 Descrição da análise dos dados .....</b>   | <b>45</b> |
| 3.2.1 Demonstração da metodologia aplicada.....   | 46        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO IV – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.1 Introdução .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.2 Análise estatística dos resultados obtidos através das pesquisas realizadas no GEPECON .....</b> | <b>50</b> |
| <b>4.3 Análise estatística das variáveis estudadas nos projetos.....</b>                                | <b>54</b> |
| 4.3.1 Variáveis dependentes da microestrutura .....   | 54        |
| 4.3.1.1 Teor de água combinada.....   | 54        |
| 4.3.1.2 Teor de hidróxido de cálcio remanescente .....  | 57        |
| 4.3.1.3 Variáveis do ensaio de porosimetria.....  | 62        |
| 4.3.2 Variáveis dependentes da durabilidade .....   | 67        |
| 4.3.2.1 Coeficiente de carbonatação .....   | 67        |
| 4.3.2.2 Difusão à água.....   | 73        |
| 4.3.2.3 Absorção capilar .....  | 76        |
| 4.3.2.4 Permeabilidade ao oxigênio .....  | 80        |
| 4.3.2.5 Penetração de cloretos.....   | 85        |



|  |            |
|--|------------|
| 4.3.2.6 Teor de cloretos retidos totais.....                                 | 90         |
| 4.3.2.7 Relação iônica Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> .....                | 95         |
| <b>4.4 Considerações gerais sobre as variáveis.....</b>                      | <b>100</b> |
| 4.4.1 Análise das variáveis da microestrutura.....                           | 101        |
| 4.4.1.1 Teor de água combinada e hidróxido de cálcio remanescente.....       | 101        |
| 4.4.1.2 Variáveis do ensaio de porosimetria.....                             | 103        |
| 4.4.2 Análise das variáveis dependentes da durabilidade.....                 | 106        |
| <b>4.5 Resumo das variáveis independentes mais significativas.....</b>       | <b>112</b> |
| <br>   |            |
| <b>CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                | <b>116</b> |
| <b>5.1 Com relação às variáveis dependentes da microestrutura.....</b>       | <b>117</b> |
| 5.1.1 Teor de água combinada.....  | 117        |
| 5.1.2 Teor de hidróxido de cálcio remanescente.....                          | 117        |
| 5.1.3 Variáveis do ensaio de porosimetria.....                               | 117        |
| <b>5.2 Com relação as variáveis dependentes da durabilidade.....</b>         | <b>118</b> |
| 5.2.1 Coeficiente de carbonatação.....                                       | 118        |
| 5.2.2 Difusão à água.....  | 119        |
| 5.2.3 Absorção capilar.....  | 119        |
| 5.2.4 Permeabilidade ao oxigênio.....  | 120        |
| 5.2.5 Penetração de cloretos.....  | 120        |
| 5.2.6 Teor de cloretos retidos totais.....                                   | 120        |
| 5.2.7 Relação iônica Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> .....                  | 121        |
| <b>5.3 Integrando os resultados da microestrutura e da durabilidade.....</b> | <b>121</b> |
| <b>5.4 Sugestões para estudos futuros.....</b>                               | <b>122</b> |
| <br>   |            |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                       | <b>124</b> |
| <b>ANEXO A.....</b>  | <b>128</b> |
| <b>ANEXO B.....</b>  | <b>165</b> |
| <b>ANEXO C.....</b>  | <b>167</b> |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1 – Resumo dos projetos realizados no Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto 'GEPECON' .....   | 44 |
| Tabela 3.2 – ANOVA para o modelo de regressão linear múltipla do teor de hidróxido de cálcio remanescente do Projeto 2CAL.....                            | 46 |
| Tabela 3.3 – Parâmetros calculados para as variáveis independentes analisadas para o teor de hidróxido de cálcio remanescente .....                       | 47 |
| Tabela 4.1 – Resultados do Projeto 1POZ, após a análise estatística das misturas com e sem adições minerais .....   | 53 |
| Tabela 4.2 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor de água combinada .....                | 54 |
| Tabela 4.3 – Resumo da variável dependente teor de água combinada.....  | 56 |
| Tabela 4.4 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor hidróxido de cálcio remanescente ..... | 57 |
| Tabela 4.5 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente .....                                | 59 |
| Tabela 4.6 – Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente .....                                       | 60 |
| Tabela 4.7 – Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente .....                                       | 60 |
| Tabela 4.8 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria .....          | 62 |
| Tabela 4.9 – Resumo do modelo geral e individual para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria .....  | 64 |
| Tabela 4.10 – Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria.....  | 66 |
| Tabela 4.11 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente coeficiente de carbonatação .....          | 68 |
| Tabela 4.12 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente coeficiente de carbonatação.....   | 70 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.13 – Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente coeficiente de carbonatação.....                                   | 71 |
| Tabela 4.14 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente difusão à água .....                 | 73 |
| Tabela 4.15 – Resumo da variável dependente difusão à água.....   | 75 |
| Tabela 4.16 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente absorção capilar .....               | 76 |
| Tabela 4.17 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente absorção capilar .....   | 78 |
| Tabela 4.18 – Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente absorção capilar .....   | 80 |
| Tabela 4.19 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente permeabilidade ao oxigênio .....     | 81 |
| Tabela 4.20 – Resumo da variável dependente permeabilidade ao oxigênio.....   | 82 |
| Tabela 4.21 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente penetração de cloretos .....         | 85 |
| Tabela 4.22 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente penetração de cloretos .....   | 87 |
| Tabela 4.23 – Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente penetração de cloretos .....  | 88 |
| Tabela 4.24 – Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente penetração de cloretos .....  | 89 |
| Tabela 4.25 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor de cloretos retidos totais..... | 91 |
| Tabela 4.26 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente teor de cloretos retidos totais.....                                   | 92 |
| Tabela 4.27 – Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente teor de cloretos retidos totais.....                               | 93 |
| Tabela 4.28 – Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....     | 95 |
| Tabela 4.29 – Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....                                       | 97 |
| Tabela 4.30 – Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....  | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.31 – Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....  | 99  |
| Tabela 4.32 – Resumo das variáveis dependentes água combinada e hidróxido de cálcio remanescente para todos os projetos em estudo - Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos .....                             | 102 |
| Tabela 4.33 – Resumo das variáveis dependentes água combinada e hidróxido de cálcio remanescente para todos os projetos em estudo com tipo e teor de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação do tipo e teor de adição..... | 103 |
| Tabela 4.34 – Resumo das variáveis dependentes do ensaio de porosimetria para o projeto em estudo – Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos.....  | 104 |
| Tabela 4.35 – Resumo das variáveis dependentes do ensaio de porosimetria para o projeto em estudo – Análise de variância e coeficiente de determinação do tipo e teor de adição .....   | 106 |
| Tabela 4.36 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo, com as análises individuais das variáveis independentes – Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos .....      | 107 |
| Tabela 4.37 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo com a variável independente tipo de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação dos modelos .....                              | 110 |
| Tabela 4.38 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo com a variável independente teor de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação dos modelos .....                              | 111 |
| Tabela 4.39 – Resumo das variáveis independentes mais significativas do modelo geral para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.....   | 113 |
| Tabela 4.40 – Resumo do modelo tipo de adição mineral mais significativo para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.....   | 114 |
| Tabela 4.41 – Resumo do modelo teor de adição mineral mais significativo para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.....   | 115 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Teor de grãos menores de 10nm versus diâmetro crítico (Isaia <i>et al.</i> , 2002) .....   | 17 |
| Figura 2.2 – Teor de água combinada unitária versus resistência à compressão unitária (Isaia <i>et al.</i> , 2002) .....  | 18 |
| Figura 2.3 – Teor de hidróxido de cálcio remanescente unitária versus resistência à compressão unitária (Isaia <i>et al.</i> , 2002) .....  | 20 |
| Figura 2.4 – Misturas pozolânicas que atendem simultaneamente as condições impostas no estudo da durabilidade (Isaia, 1995) .....   | 23 |
| Figura 2.5 – Carbonatação versus resistência à compressão de misturas com adições minerais (Isaia <i>et al.</i> , 1996) .....   | 25 |
| Figura 4.1 – Exemplo de coeficientes angulares de retas com diversas inclinações, demonstrando a dependência do eixo das ordenadas com o das abscissas .....  | 51 |
| Figura 4.2 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral e individual para a variável dependente teor de água combinada.....  | 55 |
| Figura 4.3 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente .....  | 58 |
| Figura 4.4 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente ..... | 61 |
| Figura 4.5 – Variação do coeficiente de determinação dos modelos gerais para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria.....  | 63 |
| Figura 4.6 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria .....         | 65 |
| Figura 4.7 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral da variável dependente coeficiente de carbonatação.....  | 68 |
| Figura 4.8 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente coeficiente de carbonatação.....               | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.9 – Variação do coeficiente de determinação para o modelo geral e das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente difusão à água ..... | 74  |
| Figura 4.10 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente absorção capilar .....   | 77  |
| Figura 4.11 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente absorção capilar .....                    | 79  |
| Figura 4.12 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente permeabilidade ao oxigênio .....   | 81  |
| Figura 4.13 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente permeabilidade ao oxigênio.....           | 83  |
| Figura 4.14 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente penetração de cloretos .....   | 86  |
| Figura 4.15 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente penetração de cloretos .....              | 90  |
| Figura 4.16 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente teor de cloretos retidos totais .....  | 91  |
| Figura 4.17 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente teor de cloretos retidos totais.....      | 94  |
| Figura 4.18 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....   | 96  |
| Figura 4.19 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente relação iônica $Cl^-/OH^-$ .....          | 100 |

## LISTA DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.1 – Resultados aos 91 dias do Projeto 1POZ - Variáveis da durabilidade .....   | 129 |
| Tabela A.1.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 1POZ – Variáveis da durabilidade .....                     | 130 |
| Tabela A.2 – Resultado aos 91 dias do Projeto 1POZ – Variáveis da microestrutura .....  | 132 |
| Tabela A.2.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 1POZ – Variáveis da microestrutura.....                    | 133 |
| Tabela A.2.2 – Resultados do Projeto 1POZ, após a análise estatística das misturas com e sem adições minerais.....                                | 138 |
| Tabela A.3 – Resultados aos 91 dias do Projeto 2CAL.....  | 139 |
| Tabela A.3.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL – Para misturas com e sem o uso da Cal Hidratada..... | 140 |
| Tabela A.3.2 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL – Para misturas com o uso da Cal Hidratada.....       | 141 |
| Tabela A.3.3 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL – Para misturas sem o uso da Cal Hidratada.....       | 144 |
| Tabela A.3.4 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas com e sem cal hidratada e adições minerais.....            | 146 |
| Tabela A.3.5 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas com cal hidratada e adições minerais.....                  | 147 |
| Tabela A.3.6 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas sem cal hidratada e adições minerais.....                  | 147 |
| Tabela A.4 - Resultados aos 91 dias do Projeto 3ATI.....  | 148 |
| Tabela A.4.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas com e sem ativadores químicos.....    | 149 |
| Tabela A.4.2 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas com ativadores químicos.....          | 151 |
| Tabela A.4.3 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas sem ativadores químicos.....          | 154 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela A.4.4 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas com e sem ativadores e adições minerais..... | 156 |
| Tabela A.4.5 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas com ativadores e adições minerais.....       | 157 |
| Tabela A.4.6 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas sem ativadores e adições minerais.....       | 158 |
| Tabela A.5 - Resultados aos 91 dias do Projeto 4FIN.....  | 159 |
| Tabela A.5.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 4FIN.....                                    | 160 |
| Tabela A.5.2 – Resultados do Projeto 4FIN, após a análise estatística para as misturas com e sem adições minerais.....              | 161 |
| Tabela A.6 – Resultados aos 91 dias do Projeto 5CAR.....  | 162 |
| Tabela A.6.1 – Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 5CAR.....                                    | 163 |
| Tabela A.6.2 – Resultados do Projeto 5CAR, após a análise estatística para as misturas com e sem adições minerais.....              | 164 |
| Tabela B.1 - Distribuição de Fisher - Valores de F Tabelado ( $F_{tab}$ ) para $\alpha = 0,05$ minerais.....                        | 166 |
| Figura C.1 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $KCO_2$ .....   | 168 |
| Figura C.2 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $D H_2O$ .....  | 168 |
| Figura C.3 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $P Cl^-$ .....  | 169 |
| Figura C.4 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $T Cl^-$ .....  | 169 |
| Figura C.5 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável CH.....   | 170 |
| Figura C.6 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável AC.....   | 170 |
| Figura C.7 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável VTI.....  | 171 |
| Figura C.8 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável ATP.....  | 171 |
| Figura C.9 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável DMP.....  | 172 |
| Figura C.10 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável PT.....  | 172 |
| Figura C.11 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável DC.....  | 173 |
| Figura C.12 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $d > 50nm$ .....   | 173 |
| Figura C.13 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $50 > d > 10nm$ .....  | 174 |
| Figura C.14 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável $d < 10nm$ .....   | 174 |
| Figura C.15 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável $KCO_2$ .....  | 175 |
| Figura C.16 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável $A H_2O$ .....   | 176 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura C.17 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável P Cl <sup>-</sup> .....                | 177 |
| Figura C.18 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável P O <sub>2</sub> .....                 | 178 |
| Figura C.19 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável CH.....                                | 179 |
| Figura C.20 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> ..... | 180 |
| Figura C.21 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável KCO <sub>2</sub> .....                 | 181 |
| Figura C.22 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável A H <sub>2</sub> O.....                | 182 |
| Figura C.23 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável P Cl <sup>-</sup> .....                | 183 |
| Figura C.24 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável T Cl <sup>-</sup> .....                | 184 |
| Figura C.25 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> ..... | 185 |
| Figura C.26 – Regressão linear do Projeto 4FIN para variável P Cl <sup>-</sup> .....                | 186 |
| Figura C.27 – Regressão linear do Projeto 4FIN para variável Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> ..... | 186 |
| Figura C.28 – Regressão linear do Projeto 5CAR para variável KCO <sub>2</sub> .....                 | 187 |
| Figura C.29 – Regressão linear do Projeto 5CAR para variável CH.....                                | 187 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- a/ag** – Relação água/aglomerante
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AC** – Teor de água combinada
- A H<sub>2</sub>O** – Absorção capilar
- ATP** – Área total dos poros
- C<sub>2</sub>S** – Silicato bicálcico
- C<sub>3</sub>S** – Silicato tricálcico
- CCA** – Cinza de casca de arroz
- CH** – Hidróxido de cálcio
- Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>** – Relação iônica entre cloretos e hidroxilas
- CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono
- CP V - ARI** – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
- C-S-H** – Silicatos de cálcio hidratados
- C/S** – Relação silicato de cálcio
- CV** – Cinza volante
- d** – Diâmetro do poros
- DC** – Diâmetro crítico
- D H<sub>2</sub>O** – Difusão à água
- DMP** – Diâmetro médio dos poros
- E** – Escória de alto forno
- F** – Filler calcáreo
- F<sub>cal</sub>** – F calculado pelo programa Statistica 6.0
- F<sub>tab</sub>** – F Tabelado 'Tabela de Fischer para  $\alpha = 5\%$ '
- fc** – Resistência à compressão, em MPa
- KCO<sub>2</sub>** – Coeficiente de carbonatação
- (i)** – Regressão linear simples
- (m)** – Regressão linear múltipla
- MPa** – Mega Pascal
- O<sub>2</sub>** – Oxigênio
- p** – Nível de significância

**P Cl<sup>-</sup>** – Penetração de cloretos

**pH** – Potencial de hidrogênio ou hidrogeniônico

**PT** – Porosidade total

**P O<sub>2</sub>** – Permeabilidade ao oxigênio

**T Cl<sup>-</sup>** – Teor de cloretos

**r<sup>2</sup>** – Coeficiente de determinação

**r** – Coeficiente de correlação

**Ref** – Concreto de referência, sem adição mineral

**SA** – Sílica ativa

**SiO<sub>2</sub>** – Dióxido de silício

**VTI** – Volume total de intrusão de mercúrio

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ESTUDO ESTATÍSTICO DE PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM ADIÇÕES MINERAIS**

AUTOR: PAULO RICARDO DE VARGAS FURQUIM

ORIENTADOR: GERALDO CECHELLA ISAIA

Santa Maria, 24 de março de 2006.

O Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto, 'GEPECON', desenvolveu um acervo de pesquisas, sobre concreto com adições minerais nos últimos 10 anos. De posse destes trabalhos, tomou-se a iniciativa em reunir dados de alguns projetos e analisá-los estatisticamente. O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência das variáveis independentes (relação água/aglomerante, resistência à compressão, tipo e teor de adição mineral), nas variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade do concreto através de ferramentas estatísticas. Foi utilizada análise de variância, regressão linear simples e múltipla para que se pudesse descobrir qual das variáveis independentes foi de maior significância para essas propriedades do concreto. Os dados foram analisados em cinco projetos e, posteriormente, reunidos por variáveis para realizar a análise estatística. No modelo geral, através da regressão linear múltipla, as variáveis independentes que mais influenciaram as variáveis dependentes da microestrutura foram o teor de adição e a resistência à compressão e, para a durabilidade, o teor e o tipo de adição. Já nos modelos individuais, com a regressão linear simples, as variáveis independentes que mais se destacaram no teor de água combinada e hidróxido de cálcio remanescente foram o teor e o tipo de adição; na porosimetria, a resistência à compressão e a relação água/aglomerante e para as variáveis dependentes da durabilidade, a relação água/aglomerante e resistência à compressão, foram, nesta ordem, os mais significativos. Para o tipo de adição, as misturas binárias com CCA e CV, as ternárias CCA-CV na microestrutura e CV-E na durabilidade apresentaram maior influência. O teor de adição de maior significância foi 25% para a microestrutura e 70% para a durabilidade. Com base nessas análises, evidenciaram-se os resultados da regressão linear simples que apresentaram uma maior dispersão e significância mais fraca do que os da regressão linear múltipla, o que já era esperado.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Dissertation  
Post-Graduation Program in Civil Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **STATISTICAL STUDY OF CONCRETES PRODUCTION WITH MINERAL ADDITIONS**

AUTHOR: PAULO RICARDO DE VARGAS FURQUIM

COORDINATOR: GERALDO CEHELLA ISAIA

Santa Maria, March 24<sup>st</sup> 2006.

The GEPECON, Studies and Researches Concrete Group, has developed a researches collection about the concrete with mineral additions over the last 10 years. Starting from these papers we have decided to gather some projects data to be statistically analyzed. The present paper had the objective of studying the influence of the independent variables (water/binder relation, compression strength, type and content of mineral addition) on the dependent variables of microstructure and durability of the concrete through the micro-statistic tools. The variance analysis and the simple and multiple lineal regression were applied so that it was possible to determine which was the most significant independent variable for these concrete properties. Data were analyzed in five projects and later they were gathered by variables in order to accomplish the statistical analysis. In the general model, through the multiple lineal regression, the independent variables which has been exerted more influence on the dependent variables were the addition content and the compression strength, while for durability they were the content and the addition type. However, in the single models with the simple lineal regression, the most highlighted independent variables on the content of combined water and remainder calcium hydroxide were the content and the addition type; in the poresymmetry they were the compression strength and the water/binder relation, while for the dependent variables of the durability the water/binder relation and the compression strength were, respectively, the most significant ones. For the addition type, the most influent mixtures were the binary mixtures with CCA and CV, the ternary ones CCA-CV on the microstructure and CV-E on the durability. The most significant addition content was 25% for the microstructure and 70% for the durability. As it was already expected, starting from these analyzes has been emphasized the results of the simple lineal regression that showed a larger dispersion and lower significance in relation to the ones of the multiple lineal regression.

## CAPÍTULO I

# INTRODUÇÃO

---

Sabe-se da existência e uso de materiais cimentícios desde antes do nascimento de Cristo, através de registros de diversas civilizações, como a egípcia (3.000 a 2.500 a.C), que produzia argamassas de gipsita e de cal empregadas na construção das pirâmides.

Os Gregos, Cretas e Cyprus (800 a.C), possuíam uma técnica de produção de argamassas de cal mais resistente que as argamassas romanas, apesar de não se ter registros de grandes obras com o seu uso.

Em Atenas (500 a 437 a.C), o cimento hidráulico foi comumente utilizado para revestir fontes e uma surpreendente técnica utilizando ferro que é encontrada no Propylae, construído entre 437 e 432 a.C.

Na civilização romana (300 a.C a 476 d.C), o concreto (areia e cal ou cal e cinzas vulcânicas) foi usado, primeiramente, na construção dos muros de uma cidade e, por volta do século II a.C, começou a ser usado em edificações em Roma (Via Apia, Coliseu, Pantheon, aquedutos, entre outros).

Cada civilização utilizou-se de materiais cimentícios locais para a elaboração de concretos, com o objetivo de construir muitas de suas obras, algumas das quais duram até os dias de hoje.

O cimento Portland somente foi inventado na metade do século XIX, e sua utilização em edificações de grande porte só ocorreu a partir do século XX, quando se associou o concreto ao aço como material estrutural.

Para Almeida (1992), a escassez de produtos naturais com propriedades pozolânicas fez com que, ao longo do tempo, o seu emprego caísse em desuso na maior parte do mundo. Pesquisas mais recentes identificaram propriedades pozolânicas em vários tipos de materiais que, na maior parte das vezes, se constituem em sub-produtos industriais poluentes. A incorporação isolada das adições minerais nos concretos, apesar de algumas vantagens, trazia também algumas desvantagens, como a necessidade de elevação da relação

água/aglomerante para manter a trabalhabilidade. Só a partir da introdução de adições minerais em associação com aditivos químicos, é que foi possível superar as inconveniências e atingir as propriedades superiores da nova família de concretos, principalmente, maior resistência e durabilidade.

Essa pesquisa contempla uma análise estatística da influência das adições minerais e químicas nas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho.

Quando se substitui parte de cimento Portland por cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto-forno, sílica ativa, cada uma destas adições minerais atua de modo distinto, de acordo com sua granulometria e atividade química ou física, em relação às suas interações com a pasta cimentícia (Isaia *et al.*, 2000).

O desenvolvimento das reações pozolânicas proporciona a formação de compostos hidratados mais homogêneos e induz a uma diminuição nos teores de hidróxido de cálcio na solução dos poros do concreto, originando uma pasta mais densa, substituindo poros grandes por menores, o que dificulta o ingresso de agentes agressivos e, conseqüentemente, o deslocamento desses no interior da pasta.

Como explicam Metha e Aïtcin (1990), a substituição parcial do cimento Portland por adições minerais tem por objetivo melhorar a microestrutura do concreto mediante os seguintes mecanismos:

- as partículas pozolânicas segmentam os canais de percolação da água na pasta de cimento, reduzindo a exsudação e segregação, causas primárias da falta de homogeneidade microestrutural no concreto;
- as pequenas partículas de pozolana, por serem menos reativas do que o cimento, ao serem dispersas na pasta, promovem inúmeros locais de nucleação para a precipitação dos produtos de hidratação, tornando a pasta mais homogênea em termos de distribuição de poros finos;
- por efeito físico, as partículas pequenas propiciam um maior empacotamento com o cimento e diminuem o efeito parede da zona de transição, promovendo o aumento da resistência do concreto.

Com a introdução das adições minerais no concreto temos uma melhora na microestrutura e por conseqüência, na durabilidade do mesmo. Dependendo do tipo e teor empregados, pode ou não aumentar a resistência à compressão. Portanto,

traz grande benefício à sociedade, por dar um destino a esses resíduos e, principalmente, por reduzir o consumo de energia e poluição do ar gerados pela produção do cimento, ao substituir grande parte desse produto na indústria da construção civil.

Sabe-se que cada quilograma de cimento produzido gera, aproximadamente, um quilograma de CO<sub>2</sub> que é lançado na atmosfera. O benefício obtido, com menores emissões de gás carbônico, pela redução de produção e uso do clínquer, justifica as pesquisas e o empenho de vários estudiosos no assunto em propor maiores substituições de cimento por adições minerais na construção civil.

Vários estudos já foram desenvolvidos no Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto (GEPECON), ligado ao PPGEC da UFSM, acerca da microestrutura e durabilidade do concreto, contendo diversos tipos e teores de adições minerais, especialmente, com altos teores. Suas conclusões foram divulgadas através de dissertações, teses, anais de eventos ou trabalhos em periódicos.

Entre as conclusões obtidas nessas pesquisas, destaca-se a influência que o tipo de adição e o seu teor trazem, de modo diferenciado, para a resistência mecânica, microestrutura e variáveis ligadas à durabilidade, a partir das relações água/aglomerantes adotadas (Isaia *et al.*, 1998, 2002, 2004; Gastaldini,1996; Gastaldini *et al.*,1998).

Tendo em vista a disponibilidade de um acervo de dados bastante extenso, surgiu a idéia de relacioná-los estatisticamente através de regressões lineares simples e múltiplas e, também, pela análise de variâncias, com o intuito de observar a influência dos parâmetros mais significativos que influem nas propriedades dos concretos pesquisados, tais como: tipo e quantidade de adição mineral, relação água/aglomerante e resistência à compressão, sobre algumas propriedades da microestrutura e durabilidade dos concretos.

## **1.1 Importância e justificativa do tema**

São bem conhecidos os modelos que ligam a resistência à compressão e porosidade do concreto, como a lei de Abrams, e outras relações com propriedades ligadas à durabilidade. Entretanto, estudos sistematizados sobre a influência da resistência à compressão, relação água/aglomerante (a/ag) e outras propriedades



conectadas com a microestrutura da pasta cimentícia e a durabilidade são escassos, em se tratando de análises de concretos com diversos tipos e teores de adições minerais.

Dessa forma, são poucos os estudos sistemáticos que informam até que ponto a resistência à compressão e relação  $a/ag$  influenciam, de modo global, nas demais propriedades do concreto, especialmente quando são adicionadas às misturas pozolânicas ou escória de alto-forno.

O uso dessas adições minerais altera a estrutura dos poros da pasta e, logo, a resistência à compressão, em igualdade de relação  $a/ag$ , sendo relevante estudar como essas duas variáveis impactam na microestrutura e durabilidade, quando distintos teores e tipos de adições minerais são utilizados.

É usual realizar-se inferências estatísticas entre traços de concreto com um mesmo tipo e teor de substituição de cimento por adição mineral, em estudos de regressão linear simples. Por isso, as análises estatísticas por meio de regressões lineares múltiplas ou com comparações de médias são escassas, quando há variação simultânea tanto da adição em si quanto do teor.

O GEPECON tem como principal linha de pesquisa o estudo da durabilidade do concreto com altos teores de adições minerais. Nos quinze anos de atuação, foram defendidas duas teses de doutorado e cerca de quinze dissertações de mestrado, nas quais foram coletados dados experimentais de ensaios de resistência à compressão, variáveis da microestrutura e durabilidade, em traços de concreto com diversas relações água/aglomerante, adições minerais como sílica ativa, cinza volante, cinza de casca de arroz, escória de alto-forno e filler calcáreo, em teores variando entre 10 e 70%, em misturas binárias e ternárias.

Sendo assim, constitui-se um acervo considerável de dados de ensaios, com misturas de concreto compostas com agregados de mesma origem e cimento do mesmo tipo, CP-V ARI. Algumas adições minerais tiveram procedências distintas, como a cinza de casca de arroz, enquanto que as demais foram ofertadas quase sempre pelo mesmo fornecedor. Todos os resultados das pesquisas de onde originaram esses dados foram obtidos por meio dos mesmos métodos e equipamentos de ensaio.

Formou-se assim, um conjunto relativamente homogêneo de dados que possibilitam estabelecer adequada base de comparação e inferir, por meio de análises estatísticas, as relações desejadas entre os mesmos.

Na literatura, estudos estatísticos sobre a qualificação e quantificação dos parâmetros influentes sobre as misturas de concreto com adições minerais são fragmentados e escassos, principalmente entre resistência, relação  $a/ag$ , microestrutura e durabilidade, quando relacionados ao tipo e teor de adição empregados.

## 1.2 Objetivos

Atualmente, várias pesquisas têm contribuído para a produção de estruturas de concreto mais duráveis, isto é, mais resistentes aos agentes agressivos do ambiente onde se situam. Há, também, nessas pesquisas, um propósito social e ecológico. À vista disso, busca-se atuar no sentido de incrementar o uso de adições minerais na construção civil, preservando as condições ambientais dos locais onde elas são produzidas.

A presente pesquisa tem como objetivo principal estudar, através de ferramentas estatísticas, as relações existentes entre a resistência à compressão axial, a relação água/aglomerante e as propriedades ligadas à microestrutura e durabilidade, quando são utilizados diferentes tipos e teores de adições minerais.

Objetivo geral:

Com os resultados de ensaios obtidos em diversas pesquisas realizadas no âmbito do GEPECON, objetiva-se estudar, por intermédio de ferramentas estatísticas adequadas, a significância e as relações de influência dos principais parâmetros constitutivos das misturas estudadas (tipo e teor de adição mineral, relação água/aglomerante e resistência à compressão) sobre as demais variáveis relacionadas à microestrutura e à durabilidade.

Objetivos específicos:

- Determinar, através de estudos de regressão linear simples e múltipla, as relações existentes entre as variáveis independentes (relação  $a/ag$ , resistência à compressão, tipo e teor de adição) e as variáveis dependentes

da microestrutura, como estrutura dos poros, água combinada e teor de hidróxido de cálcio remanescente;

- Estabelecer, através de estudos de regressão linear simples e múltipla, as relações existentes entre as variáveis independentes e as variáveis dependentes da durabilidade, como coeficiente de carbonatação, penetração e retenção de cloretos, relação iônica  $Cl^-/OH^-$ , absorção superficial de água, coeficiente de difusão a água e ao oxigênio;
- Comparar o comportamento estatístico das misturas de referência com aquelas com adições minerais e o grau de dependência de ambas em relação à relação a/ag e resistência à compressão;
- Definir, por intermédio da análise de variância (ANOVA), o grau de significância dos modelos que influem em cada uma das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, quando relacionadas com as variáveis independentes;
- Inferir, a partir dos resultados estatísticos efetuados, as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade que são mais significativamente afetadas pelas variáveis independentes empregadas nos estudos analisados.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: no **Capítulo I** é apresentado um breve relato do surgimento e evolução do concreto, a importância e justificativa do tema e os objetivos propostos para esta pesquisa; no **Capítulo II** é apresentado o referencial teórico que mostra algumas características das adições minerais empregadas na pesquisa, bem como a influência das mesmas nas propriedades da microestrutura e durabilidade do concreto; o **Capítulo III** diz respeito à metodologia de pesquisa. Nele, são comentados alguns estudos semelhantes, nas quais foram utilizadas análise de variância e regressão entre as variáveis; no **Capítulo IV** é realizada uma análise minuciosa e discussão dos resultados que foram obtidos a partir dos projetos desenvolvidos no âmbito do GEPECON, e, por fim, no **Capítulo V**, são apresentadas as Considerações Finais extraídas da pesquisa.

## **A MICROESTRUTURA E A DURABILIDADE DO CONCRETO COM ADIÇÕES MINERAIS**

---

### **2.1 Introdução**

Em uma estrutura, o concreto, naturalmente, desempenha uma função de proteção em relação à armadura, atuando de forma a atenuar e, por vezes, impedir o desenvolvimento de fenômenos de deterioração, químicos ou físicos, que poderiam ser prejudiciais, como a entrada de substâncias deletérias ou ações mecânicas.

Entretanto, o concreto como material poroso, apresenta desvantagens do ponto de vista de um material com funções estruturais. O mesmo, freqüentemente, apresenta microfissuras, poros e canais capilares, características que são críticas tanto para a resistência à compressão, quanto para o ingresso de fluidos agressivos na estrutura.

Costumava-se dizer, que o concreto é uma mistura de cimento, areia e agregados. Além desses componentes, o concreto também é composto de resíduos industriais e aditivos químicos. Portanto, o cimento precisa das adições minerais ativas para continuar suas reações e, essas precisam do cimento como ativador (Mehta, 1999).

Uma pozolana é assim definida, conforme Mehta e Monteiro (1994, p.217)

Material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio a temperaturas ambientes para formar compostos com propriedades cimentantes.

Aïtcin (2000) cita que a maioria das pozolanas tem uma característica em comum: elas contêm alguma forma de sílica vítrea reativa que, na presença de água,

pode combinar-se com o hidróxido de cálcio (CH), à temperatura ambiente, para formar silicato de cálcio hidratado secundário (C-S-H).

Conforme o mesmo autor, a hidratação do cimento Portland libera uma grande quantidade de hidróxido de cálcio em virtude da hidratação do  $C_3S$  e  $C_2S$ , que pouco contribui para a resistência da pasta de cimento hidratada e pode ser responsável por problemas de durabilidade, uma vez que pode ser carregada facilmente pela água. Essa lixiviação resulta em um aumento na porosidade da matriz da pasta de cimento fazendo com que o concreto se torne mais vulnerável ao ingresso de agentes agressivos.

Tendo em vista que o objetivo desta pesquisa foi determinar, por meios estatísticos, a influência do tipo e quantidade de adições minerais sobre parâmetros da microestrutura e durabilidade do concreto, a seguir será realizada uma breve revisão sobre as principais adições minerais empregadas nas pesquisas analisadas na presente dissertação.

## **2.2 Influência das adições minerais no concreto**

As adições minerais são empregadas no concreto com o objetivo de melhorar algumas de suas propriedades. Contudo, diferenças nas características físicas e químicas desses materiais (consequência da diversidade de tipos e de origem das adições), dificultam a escolha da melhor adição mineral e do teor adequado a ser empregado no concreto. Dessa forma, torna-se necessário um melhor conhecimento das características do material, bem como a compreensão das reações e alterações promovidas pelas adições minerais no material (Castro, 2003).

As pozolanas podem ser naturais, materiais de origem vulcânica, geralmente ácidos, ou de origem sedimentar; podem também ser artificiais, materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica (NBR 5736/91).

As adições minerais mais utilizadas são aquelas que têm em sua composição: sílica amorfa como a sílica ativa, a escória de alto-forno, a cinza volante e a cinza de casca de arroz.

A utilização de pozolanas traz benefícios para diversas propriedades do concreto. Por se tratar de um material extremamente fino, sua adição proporciona:

um efeito físico através do tamponamento dos poros, diminuindo o volume de vazios, e um efeito químico, pela produção de silicato de cálcio hidratado, através das reações pozolânicas. Contribui assim, para uma menor porosidade, o que permite ganhos de resistência mecânica e proporciona um concreto com baixa permeabilidade, garantindo uma proteção à estrutura frente a agentes agressivos, que promovem a deterioração do concreto (Dal Ri, 2002).

A proporção para substituição do cimento por adições varia conforme o tipo de adição. Experimentos realizados por vários pesquisadores indicam que os valores mais usados são de 5 a 20% para a sílica ativa, 55 a 70% com escória de alto-forno, 25 a 60% de cinza volante, 15 a 50% com cinza de casca de arroz e 10 a 50% para filler calcáreo (Moraes, 2001; Hoppe Filho, 2002).

A seguir, será apresentada a influência das adições minerais utilizadas nas pesquisas que foram base desse estudo.

### 2.2.1 Sílica ativa

A sílica ativa é uma das pozolanas mais utilizada em concreto de alto desempenho em todo mundo. Sua contribuição, para o concreto, consiste na alta reatividade nas primeiras idades, induzindo a um aumento nas resistências mecânicas iniciais e finais.

Essa pozolana, em contato com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento, resulta na formação de um silicato de cálcio hidratado. Sua ação pozolânica e microfiller provoca a redução considerável do tamanho dos poros e, ocasionalmente, também a sua obstrução, impedindo a passagem de fluidos (Sanchez, 1997).

A adição de altos teores de sílica ativa, todavia, é desvantajosa no que se refere à carbonatação, uma vez que o consumo de hidróxido de cálcio na reação pozolânica é bastante elevado. Esse alto consumo de CH diminui a quantidade de produtos carbonatáveis e redução do pH da água dos poros, aumentando as taxas de carbonatação, como aponta Isaia (1995).

Na conclusão de seus estudos sobre a corrosão das armaduras em concretos com adições de sílica ativa, Vieira (2003) afirma que as taxas de corrosão não se alteram quando se compara concretos com 10% de adição de sílica com os

concretos de referência, mesmo que ocorra uma ligeira diminuição do pH e um conseqüente aumento da profundidade de carbonatação.

A sua adição produz, no concreto fresco, baixa exsudação e aumenta a coesão; no concreto endurecido, produz alta resistência inicial e baixa permeabilidade. Seus efeitos benéficos não se limitam à reação pozolânica, pois há um efeito físico das partículas finas se posicionarem na interface agregado-pasta, que é a região mais porosa do concreto, obstruindo esses poros (Neville, 1997).

Isaia (1995) coletou dados mostrando que o emprego de sílica ativa no concreto trouxe acréscimos médios de resistência entre 25 e 45%, enquanto que, no caso da absorção de água para teores de 10 e 20%, houve decréscimos entre 45 e 68%, respectivamente, em relação ao concreto de referência, somente com cimento Portland. Embora, a resistência tenha aumentado com o emprego da sílica ativa, a absorção de água reduziu-se de forma mais significativa, para os teores acima mencionados, mostrando mais uma vez que o uso de pozolanas no concreto é mais relevante no aspecto da durabilidade do que no da resistência.

Para finalizar, resumidamente, a sílica ativa contribui efetivamente para a modificação da estrutura dos poros, provocando o aumento do seu volume de menor diâmetro e a diminuição da comunicação entre eles, o que reflete diretamente na diminuição da taxa de absorção e no aumento da resistência capilar.

### 2.2.2 Escória de alto-forno

Conforme Costa (2001), a escória é composta pelos mesmos óxidos que compõem o cimento, porém em proporções diferentes. Apresenta boa reatividade nos períodos iniciais, produzindo adequada resistência aos 7 dias de hidratação.

Quando o cimento e a escória de alto-forno são misturados com água, os componentes do cimento começam a hidratar-se primeiro, embora haja uma reação imediata de uma pequena quantidade de escória, que libera íons de cálcio e de alumínio na solução. A escória reage então com os hidróxidos alcalinos, ou seja, há uma reação com o CH liberado pelo cimento, formando o C-S-H secundário.

Entre os efeitos do uso da escória nas propriedades do concreto, estão: a melhor trabalhabilidade, uma vez que confere à mistura maior mobilidade e coesão, conseqüência de uma melhor dispersão das partículas cimentícias. O maior tempo de pega é outro efeito comumente encontrado, dependendo da proporção de escória

empregada, da relação água/aglomerante e da temperatura inicial do concreto (Sperb, 2003).

Com relação à durabilidade, concretos com escória têm a permeabilidade e porosidade reduzida e uma crescente resistência ao longo da idade, pois, entre outros fatores, possuem uma microestrutura mais densa (Neville, 1997).

Gastaldini (1996) pesquisando concretos com 50 e 70% de substituição em massa de cimento por escória de alto-forno (área específica de  $400 \text{ m}^2/\text{Kg}$ ), verificou decréscimo na resistência à compressão da ordem de 22 a 35%, respectivamente, frente ao concreto de referência aos 28 dias. Na microestrutura notou um aumento no volume dos poros do gel e redução no volume dos poros capilares, ou seja, um refinamento dos poros, além de redução na porosidade total, o que resulta em menor permeabilidade e, conseqüentemente, maior durabilidade do concreto.

Costa (2001), em sua pesquisa observou que, para a mesma relação a/ag, o aumento na finura da escória de 300 para  $700 \text{ m}^2/\text{kg}$  resultou em acréscimos significativos na resistência à compressão. Houve diminuição dessa propriedade, com o aumento do teor de escória de 35 para 70%, tendo melhor desempenho a mistura com teor de 35% e finura de  $700 \text{ m}^2/\text{Kg}$ , sendo superior ao concreto de referência.

Conforme pesquisa acima, as misturas contendo escória, quando comparadas a de referência, apresentaram redução na penetração de cloretos, tendo a mistura composta com 70% de escória e finura de  $300 \text{ m}^2/\text{kg}$  apresentando o melhor desempenho. Entretanto, o aumento na finura da escória resultou em acréscimos na corrente passante, tanto maior quanto a finura da escória.

### 2.2.3 Cinza volante

Conforme Venquiaruto (2002), do ponto de vista físico, as cinzas volantes são esféricas e de grande finura.

A adição da cinza volante traz vantagens significativas no concreto fresco, melhora a trabalhabilidade e a coesão, diminuindo a exsudação e a segregação, facilitando a operação de transporte, lançamento e o acabamento, pois ocorre o retardamento do tempo de pega, baixo calor de hidratação.

Segundo Sperb (2003), quanto a resistência à compressão, os resultados obtidos com concretos contendo cinza volante dependem do teor e qualidade, mas



costumam apresentar resistências iniciais iguais ou inferiores a concretos contendo apenas cimento, ao passo que nas idades superiores aos 28 dias apresentam resistências iguais ou superiores, havendo presença suficiente de hidróxido de cálcio para a continuidade das reações pozolânicas, para que haja o refinamento dos poros do concreto.

Ao desenvolver estudo com cinza volante em teor de substituição ao cimento de 50%, Frizzo (2001) descobriu decréscimos na resistência à compressão diante do concreto de referência, constituído somente com cimento, aos 91 dias, para a relação água/aglomerantes de 0,35 a 0,65. Ao observar os parâmetros de durabilidade por ele analisado, verificou-se a redução considerável nos coeficientes de permeabilidade ao oxigênio, sendo que o mesmo ocorreu com os coeficientes de absorção capilar de água, quando comparados com os respectivos valores do concreto de referência.

Portanto, as vantagens da adição de cinza volante aos concretos se traduz na redução da permeabilidade e, conseqüentemente, aumento da durabilidade (Winck, 2002).

#### 2.2.4 Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz tem comportamento similar ou até melhor que a sílica ativa. Por isso, alguns pesquisadores a consideram como uma 'superpozolana', quando obtida por meio de queima controlada.

A alta reatividade da cinza de casca de arroz deve-se ao fato de ser formada a baixas temperaturas (500 a 700°C), apresenta superfície microporosa, facilitando assim, a formação do silicato de cálcio hidratado.

Estudos realizados por Isaia *et al.* (2000), com a substituição de cimento por teores de 12,5, 25 e 50% de cinza de casca de arroz, nas relações a/ag 0,35, 0,50 e 0,65, apontam, aos 91 dias:

- acréscimos na resistência à compressão para os três teores acima citados, quando comparados aos valores obtidos frente ao concreto de referência na relação a/ag 0,35. Na relação 0,50, o concreto com adição de 12,5% de CCA apresentou valor inferior ao de referência, enquanto que, nos teores de 25 e 50%, apresentou valores superiores ao concreto de cimento

Portland, salientando como valor máximo 61,1 MPa oriundo do concreto com 25% de adição;

- ao empregar uma relação a/ag 0,65, o concreto com 50% de CCA apresentou resistência à compressão inferior ao de referência, entretanto, para os teores de 12,5 e 25%, valores superiores foram averiguados e, novamente, o concreto com teor de 25% apresentou o maior valor de resistência (42,8 MPa);
- em análise do teor de hidróxido de cálcio remanescente, para o teor de substituição de 50%, detectou-se o consumo quase total do mesmo (98%), nas três relações a/ag investigadas, ou seja, a reserva alcalina tende a zero em virtude da atividade pozolânica desenvolvida pela cinza de casca de arroz em altos teores. Para o teor de 12,5%, houve um decréscimo médio de 34% no teor de hidróxido de cálcio e para 25% de adição, decréscimo médio de 61%.

O efeito físico acompanhado do efeito pozolânico contribui para a segmentação dos poros do concreto, fazendo com que ocorra o refinamento dos grãos de hidróxido de cálcio, formando cristais de menores dimensões. Com isto, a zona de transição pasta-agregado é diminuída e reforçada pela produção de C-S-H secundário, sendo este o maior responsável pelo aumento da resistência à compressão (Vagheti, 1999).

#### 2.2.5 Filler calcáreo

Segundo Neville (1997), o filler calcáreo é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido às suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto, tais como: trabalhabilidade, densidade, exsudação, permeabilidade, capilaridade.

Embora não muito empregado como adição mineral para a fabricação de concreto de alto desempenho, o filler calcáreo pode ser utilizado para produzir concretos convencionais. Esse material difere das demais adições por ser praticamente inerte quimicamente, isto é, pouco reage com a água e com compostos do cimento hidratado. Isto significa que não possui atividade pozolânica, produzindo apenas efeitos físicos de tamponamento dos poros e complemento de granulometria.

Pequena atividade química, com alguns compostos de hidratação do cimento, pode ser observada (Moraes, 2001).

É importante que o filler tenha uniformidade das propriedades e, especialmente, da finura. Ele não deve aumentar a demanda de água da mistura quando usado em concreto, a menos que usado como um redutor de água, para não prejudicar a resistência do concreto às intempéries ou a proteção do concreto à armadura. Espera-se que, para finalidades específicas, no futuro, o emprego de fillers se torne popular e atinja níveis de 15 ou 20% de adição ao cimento, conforme Winck (2002).

#### 2.2.6 Cal hidratada

De acordo com diversos pesquisadores como, Dal Ri (2002), Hoppe Filho (2002) e Stumpp (2003), o uso de adição da cal hidratada no concreto tem por finalidade, repor parcialmente ou totalmente, as reservas de hidróxido de cálcio para as reações pozolânicas e, ainda, restabelecer a reserva alcalina do concreto, a qual sofre decréscimo variável dependendo da reatividade e teor de cada adição. Além de ser um aglomerante aéreo, apresenta elevada alcalinidade, com alto teor de óxido de cálcio (CaO), possibilitando o seu emprego em concretos com altos teores de adições minerais.

Heikal *et al.* (2000), verificaram em seus estudos que a adição de cal hidratada diminui a porosidade total, com a formação de uma estrutura mais densa e acelera a taxa de hidratação do cimento. O efeito da adição de cal é de ordem física e química. Física, pois a finura do material funciona como filler e química, porque as reações com a fase aluminato produzem carboaluminato. As pozolanas reagem com a cal adicionada, formando C-S-H adicional, aumentando a resistência à compressão.

Stumpp (2003), em sua pesquisa, observou uma redução nas profundidades de carbonatação e dos coeficientes de carbonatação acelerada para todas as misturas que continham a adição de cal hidratada em igualdade de relação água/aglomerante, obtendo os menores coeficientes de carbonatação no teor de 70% de escória com 15% de cal na relação a/ag 0,55.

Dal Ri (2002), ao pesquisar a influência da adição de cal hidratada às misturas com elevados teores de adições minerais, observou que ocorreu num

aumento da penetração de cloretos, se comparados a mesma mistura sem esta adição. As misturas binárias, com cinza de casca de arroz, foram as que apresentaram melhor desempenho, em relação ao concreto de referência, com redução na penetração de cloretos de 92% (sem) e 83% (com) adição de cal.

Conforme essa mesma autora, a adição de cal resultou também um aumento na retenção total de cloretos em todas as misturas investigadas, sendo mais acentuada para aquela contendo cinza de casca de arroz. A mistura contendo escória de alto-forno, em teor de substituição de 70%, foi a que apresentou maiores valores de retenção de cloretos.

## **2.3 Ativadores químicos**

Na temperatura ambiente, as reações com o hidróxido de cálcio (reações pozolânicas) desenvolvem-se lentamente e, como consequência, também a resistência mecânica. Dessa forma, as resistências podem resultar, por vezes, nas idades iniciais, menores que as obtidas com cimento Portland.

Segundo Gomes (2003), para acelerar as reações e obter resistências iniciais mais elevadas, pode-se aumentar a temperatura de cura e/ou promover uma moagem mais fina do material, mas o método mais eficiente consiste na ativação química das misturas. Os efeitos dessa ativação dependem do tipo e teor do ativador, do tipo e teor da adição, das condições de cura e do tempo de reação.

Sperb (2003), em sua pesquisa, apontou com relação à resistência à compressão, que as misturas contendo os ativadores químicos investigados desenvolveram resistências maiores do que às suas equivalentes sem ativadores, exceto para a mistura ternária, enquanto em relação ao concreto de referência, as resistências foram praticamente iguais.

Segundo exposto pelo autor acima, em relação à absorção capilar, apesar de todas as misturas apresentarem resultados inferiores aos da mistura de referência, verificou-se grande variação nos resultados entre as mesmas misturas em função do ativador e da relação  $a/ag$ . Em geral, o emprego dos ativadores químicos, exceto para a mistura 20% de cinza volante, diminuiu as quantidades de água absorvida, quando comparados os resultados das três relações  $a/ag$ .

Quanto à penetração de cloretos, as maiores resistências à passagem de corrente foram oferecidas pelas misturas ternárias. Essas misturas foram classificadas, segundo critérios da ASTM C1202, como de muito baixa penetração de cloretos, seja aos 28 como aos 91 dias. A mistura ativada com sulfato de potássio revelou as maiores reduções em comparação com a mistura de referência: 76% a 89%, dependendo da idade de hidratação e da relação água/aglomerante. Os resultados obtidos com sulfato de sódio (1%) praticamente foram iguais aos da mistura básica, não ativada quimicamente (Gomes, 2003).

## **2.4 Variáveis da microestrutura e durabilidade**

Observa-se que as propriedades ligadas à microestrutura e durabilidade em concretos com adições minerais são dependentes de vários fatores que interagem entre si, o que dificulta a compreensão dos mecanismos atuantes em cada caso específico. A seguir, é realizada breve revisão sobre as principais variáveis que são objeto do estudo estatístico da presente dissertação.

### **2.4.1 Variáveis da microestrutura do concreto**

#### **2.4.1.1 Estrutura dos poros**

Para Mehta e Monteiro (1994), não é a porosidade total, mas a distribuição do tamanho dos poros que controla efetivamente a resistência, a permeabilidade e as variações de volume em uma pasta de cimento endurecida. A distribuição do tamanho dos poros é afetada pela relação água/aglomerante e pelo grau de hidratação (idade) do cimento. Os poros maiores (capilares) exercem influência na resistência à compressão e permeabilidade, enquanto que os poros pequenos (do gel) influem na retração por secagem e fluência.

Em sua pesquisa, Isaia *et al.* (2003) apontaram que os concretos de maior resistência apresentam menos espaços para formação de cristais de CH e o consumo desse é maior nas misturas pozolânicas, porque o tamanho das partículas de C-S-H secundários, formados pelas reações pozolânicas, ocupam menor volume do que a soma dos volumes de sílica amorfa da pozolana e de CH. Este processo se

denomina refinamento dos grãos, causa da textura mais fina e maior compactidade da pasta cimentícia.

Conforme Isaia *et al.* (2002), as pozolanas segmentam os poros e tornam a microestrutura mais compacta e homogênea. À proporção que cresce a quantidade de pozolana na mistura, decresce o diâmetro crítico (DC), em razão, cada vez menor à medida que aumenta para teores mais elevados, de acordo com a Figura 2.1.

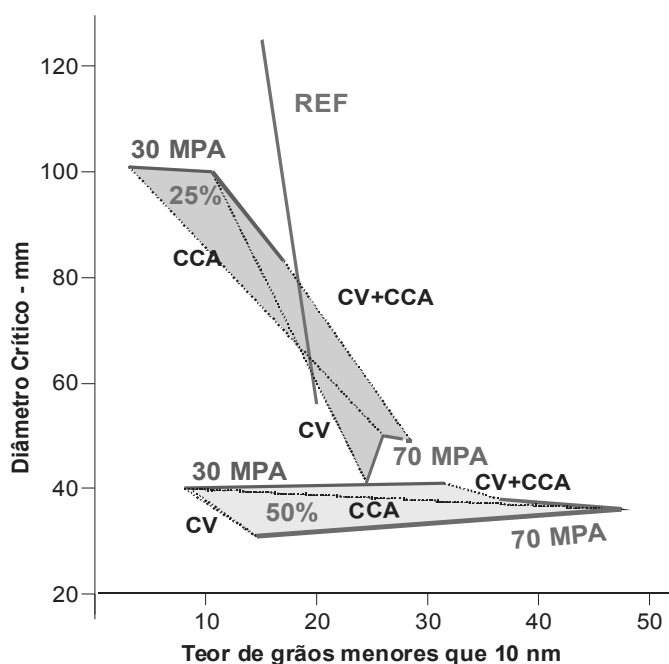


Figura 2.1 – Teor de grãos menores que 10 nm versus diâmetro crítico (Isaia *et al.*, 2002).

Sobre a pesquisa acima, o decréscimo do DC para a mistura com 25% de pozolana, quando o nível de resistência aumenta de 30 para 70 MPa é de 48%, e de apenas 10% para o teor de 50%. Esse comportamento deve-se ao fato de que o teor de pozolana na mistura é mais significativo no sentido de refinar a dimensão dos poros, em qualquer nível de resistência. Para o nível de resistência 70 MPa as misturas com 25% de pozolana tiveram acréscimo de 160% de poros menores que 10 nm, em relação a 30 MPa e, para o teor de 50%, 106%, mostrando que o refinamento cresce não só com o teor de pozolana na mistura, mas também com o nível de resistência, havendo uma sinergia entre ambos.

Na pesquisa de Kulakowski (2002) foram encontrados para porosidade total valores de 11,66 e 9,99% com relação água/aglomerante 0,40 e teor de sílica ativa

de 10 e 20%, respectivamente. Para as amostras de relação água/aglomerante 0,70, a porosidade total é de 13,91% para 10% de adição e 16,99% para 20% de adição.

#### 2.4.1.2 Teor de água combinada

Água combinada é a água da hidratação que se combinou com o cimento tornando-se parte constituinte dos compostos hidratados, não podendo ser retirada por efeitos da temperatura ou umidade.

O teor de água combinada está intrinsecamente relacionada com a relação água/aglomerante, pois pode-se dizer que ao aumentar a quantidade de água na mistura, ele também aumenta, ou seja, a hidratação é mais intensa para as maiores relações água/aglomerante.

Conforme Isaia *et al.* (2002), o teor unitário de água combinada (%/kg de cimento) mede a água química combinada nas reações de hidratação do cimento. À medida que cresce a resistência, as partículas se tornam mais próximas uma das outras, diminui a porosidade e os espaços para formação dos compostos hidratados, decrescendo o teor de água combinada, em relação ao nível de resistência mais baixo. Essa constatação pode ser observada na Figura 2.2.

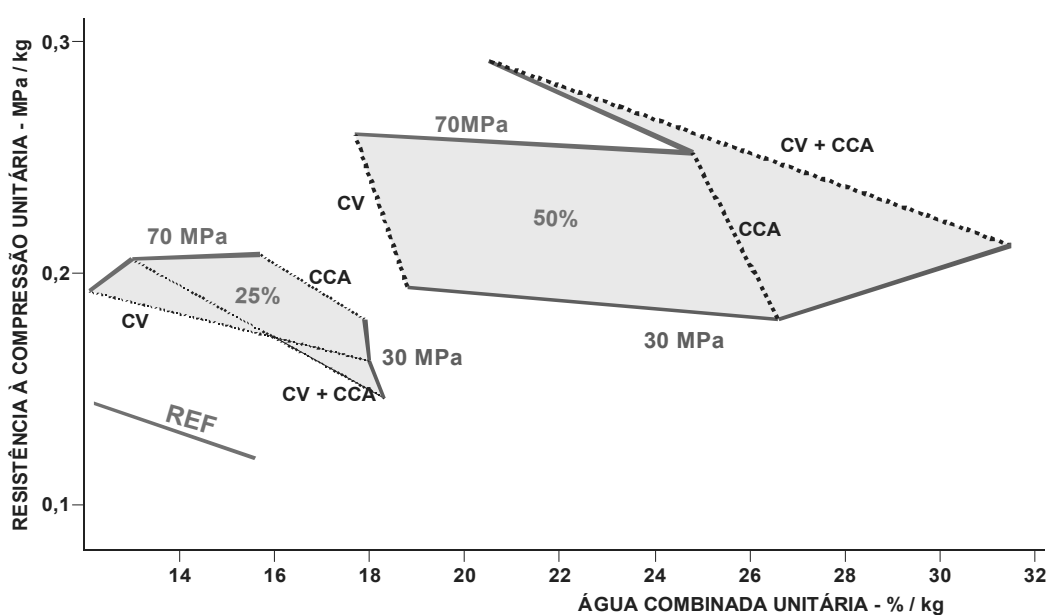


Figura 2.2 – Teor de água combinada unitária versus resistência à compressão unitária (Isaia *et al.*, 2002).

Silveira (2004), constatou que o teor de água combinada no concreto sofre influência da cura e da profundidade em relação à superfície. Para todas as relações  $a/ag$  (0,40 a 0,75) e misturas com a adição da CV, com e sem o uso da cal, os traços com cal demonstraram teores de água combinada maiores que os traços sem cal em todas as camadas estudadas, exceto apenas na camada 1 da relação 0,75. Tais comportamentos deve-se a capacidade da cal em reter umidade, propiciando maior formação de produtos de hidratação.

#### 2.4.1.3 Teor de hidróxido de cálcio remanescente

O teor de hidróxido de cálcio presente na água dos poros do concreto tem fundamental importância na velocidade de carbonatação, visto ser a reação de carbonatação realizada entre os gases atmosféricos, principalmente o  $CO_2$  e os álcalis do concreto. Quanto maior o teor de hidróxido, maior a reserva alcalina e mais lento será o avanço da frente carbonatada, pois haverá um maior teor de CH a ser consumido pelas reações de carbonatação.

Stumpp (2003), em sua pesquisa, observou que o teor de CH das misturas com adições minerais é bastante inferior à mistura de referência. Para a relação  $a/ag$  0,35 a mistura CV50% com 15% de cal teve CH remanescente em menor teor do que a mistura sem cal. A partir da relação  $a/ag$  0,45, a mistura com cal passou a ter CH remanescente em maior teor do que a mistura sem cal.

Estudos de Isaia (1995) mostraram que misturas binárias e ternárias de cinza volante com cinza de casca de arroz, sílica ativa ou escória de alto-forno apresentam velocidade de carbonatação crescentes com o aumento do teor das adições minerais, devido ao fato de as mesmas possuírem menores teores de cimento e, conseqüentemente, menor teor de CH remanescente. Esse fato também influencia na porosidade, isto é, há um refinamento do tamanho e quantidade dos poros do concreto, o que diminui assim a permeabilidade à água e gases no interior da pasta.

De acordo com essa pesquisa, a mistura E70% com 15% de cal, apresentou teores de CH mais próximos à mistura de referência. A adição de cal aumentou o teor de CH remanescente na mistura com cal. Como para a mistura binária de CCA, a mistura ternária de CCA e CV apresentou teores de CH menores que 0,13%,



sendo portanto, o CH totalmente consumido pelas reações pozolânicas, tendo em vista a maior reatividade desta adição, ou seja, o teor de cal adicionado não foi suficiente para repor a quantidade consumida. A mistura ternária de CV-E, apresentou CH remanescente, em nível inferior ao da mistura de referência. A adição de cal aumentou o CH disponível em relação à mistura sem cal.

Na Figura 2.3 observa-se que os valores do CH remanescente unitário, obtidos para a resistência à compressão unitária de 70 MPa, são tão menores em relação ao nível de 30 MPa. Com esse efeito, à medida que diminui o teor de cimento repostado pela adição mineral, também diminui a quantidade de CH formado pelas reações de hidratação. Tal comportamento também é devido ao menor espaço disponível para alojar os cristais de CH, conforme o crescimento da resistência e decréscimo da porosidade.

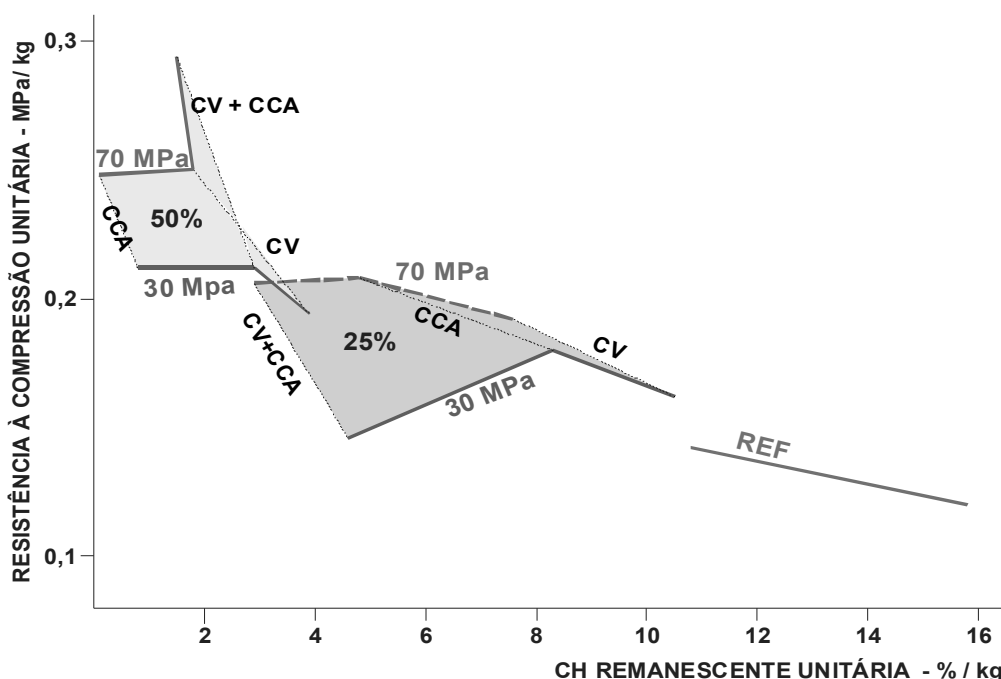


Figura 2.3 – Teor de hidróxido de cálcio remanescente unitária versus resistência à compressão unitária (Isaia *et al.*, 2002).

## 2.4.2 Variáveis da durabilidade do concreto

### 2.4.2.1 Relação água/aglomerante

A água é um dos mais importantes parâmetros de qualidade do concreto e tem um papel fundamental tanto positivamente, quando é responsável pelo início

das reações de hidratação do cimento Portland e pela adequada cura do concreto, quanto de modo negativo quando, em muitos casos, promove a degradação precoce da estrutura (Hewlett, 1999).

Frizzo (2001), analisando aos 91 dias de idade misturas binárias de 25 e 50% de CCA em comparação ao concreto de referência pôde concluir, à medida que decresce a relação a/ag, aumenta a resistência à compressão, de acordo com a lei de Abrams.

- Nas relações a/ag 0,35, 0,50 e 0,60, a mistura com CCA50% obteve, 70,1, 54,8 e 42,9MPa, enquanto o concreto de referência, 55,1, 42,0 e 37,3MPa;
- Na permeabilidade ao oxigênio, a mistura com CCA25%, obteve um coeficiente de 0,19, 0,52 e  $1,32 \times 10^{-17} \text{m}^2$ , mas o pior desempenho permaneceu com o concreto de referência, 10,06, 18,69 e  $45,41 \times 10^{-17} \text{m}^2$ ;
- Na quantidade de água absorvida por capilaridade, a mistura com CCA25% obteve 72, 277 e 899g/m<sup>2</sup>, enquanto no concreto de referência, 1.996, 3.690 e 4.601g/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Pesquisa de Stumpp (2003) apontou que a maior profundidade carbonatada foi a mistura ternária com CV50%CCA20% de 9,68, 14,29 e 18,27 (mm/sem<sup>0,5</sup>), nas três relações a/ag 0,35, 0,45 e 0,55. Já as menores profundidades carbonatadas foram na mistura E70% com 15% de cal de 3,26 (mm/sem<sup>0,5</sup>) na relação a/ag 0,55 e nas relações a/ag 0,45 e 0,35 no concreto de referência de 0,1 e 1,31 (mm/sem<sup>0,5</sup>), respectivamente. Para o teor de hidróxido de cálcio remanescente obteve-se os resultados nas três relações a/ag, para o concreto de referência, 2,95, 5,00 e 8,48% e menor que 0,13% para as misturas com CCA15%, CCA15% com 18% de cal e CV50%CCA20%.

Isaia *et al.* (2002), estudando misturas binárias com CV, CCA, F (12,5, 25 e 50%) e misturas ternárias com CV-CCA (25 e 50%), em três relações a/ag (0,35, 0,50 e 0,65), concluíram que quanto maior a relação a/ag, maior será a porosidade total no concreto, tendo como respostas, no concreto de referência (13,0, 21,5 e 28,7%), em média nas misturas binárias (17,29, 26,44 e 37,03%) e nas ternárias CV-CCA (14,25, 25,05 e 27,4%), respectivamente.

#### 2.4.2.2 Resistência à compressão

Em alguns casos, a resistência à compressão é considerada como a propriedade mais importante do concreto, embora, em muitos casos, outras características como a durabilidade e a permeabilidade sejam, de fato, mais importantes. A resistência à compressão dá uma idéia geral da qualidade do concreto, pois está ligada diretamente com a estrutura da pasta de cimento hidratado.

Com respeito à importância da determinação da resistência à compressão para a durabilidade, Isaia (1995) afirma que o comportamento da resistência mecânica está relacionado à porosidade da pasta ou à interface do agregado, para um determinado grau de hidratação, na idade considerada. Como esses fatores são os mesmos que governam a durabilidade, que depende dos mecanismos de transporte de soluções, agressivas ou não, pelos poros intersticiais, depreende-se que essas duas propriedades são interligadas e interdependentes, cuja importância relativa, de uma ou outra, dependerá dos materiais utilizados na mistura, das condições de projeto e do meio ambiente.

Castro (2003) percebeu, em sua pesquisa, um comportamento bem definido, caracterizado pela redução da resistência à compressão com o aumento da relação  $a/ag$ . Também, notou que a substituição parcial do cimento pode levar a um incremento de resistência à compressão, com exceção dos concretos com escória de alto-forno e cinza volante, podendo-se destacar o desempenho dos concretos com sílica ativa e metacaulinita que apresentaram os melhores resultados de resistência à compressão.

Sperb (2003), com relação à resistência à compressão, apontou em seu estudo que, as misturas contendo os ativadores químicos desenvolveram resistências maiores do que às suas equivalentes sem ativadores, exceto para a mistura ternária, sendo o efeito significativamente maior para as idades iniciais.

Na pesquisa de Vieira (2003), realizou-se uma análise estatística dos resultados através de regressão não linear múltipla, a qual possibilitou ajustar um modelo matemático que representa a relação entre os fatores analisados e a resistência à compressão, bem como verificar a significância da relação  $a/ag$  e do teor de adição. O modelo de regressão proposto é apresentado na equação 2.1.

$$f_c = \text{Exp}\{b_0 + [b_1/(a / a_g)] + (b_2 / s_a)\} \quad (2.1)$$

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão aos 28 dias (MPa);

$a/a_g$  = relação água/aglomerante;

$s_a$  = teor de adição de sílica ativa (%);

$b_0, b_1$  e  $b_2$  = parâmetros dos fatores considerados no modelo.

A Figura 2.4 mostra a abrangência da resistência à compressão para as misturas, aparecendo na parte inferior os gráficos da relação água/aglomerante que propiciaram os valores das propriedades fixadas. O uso das adições minerais, para uma mesma resistência, ocasiona variações nas relações água/aglomerante.

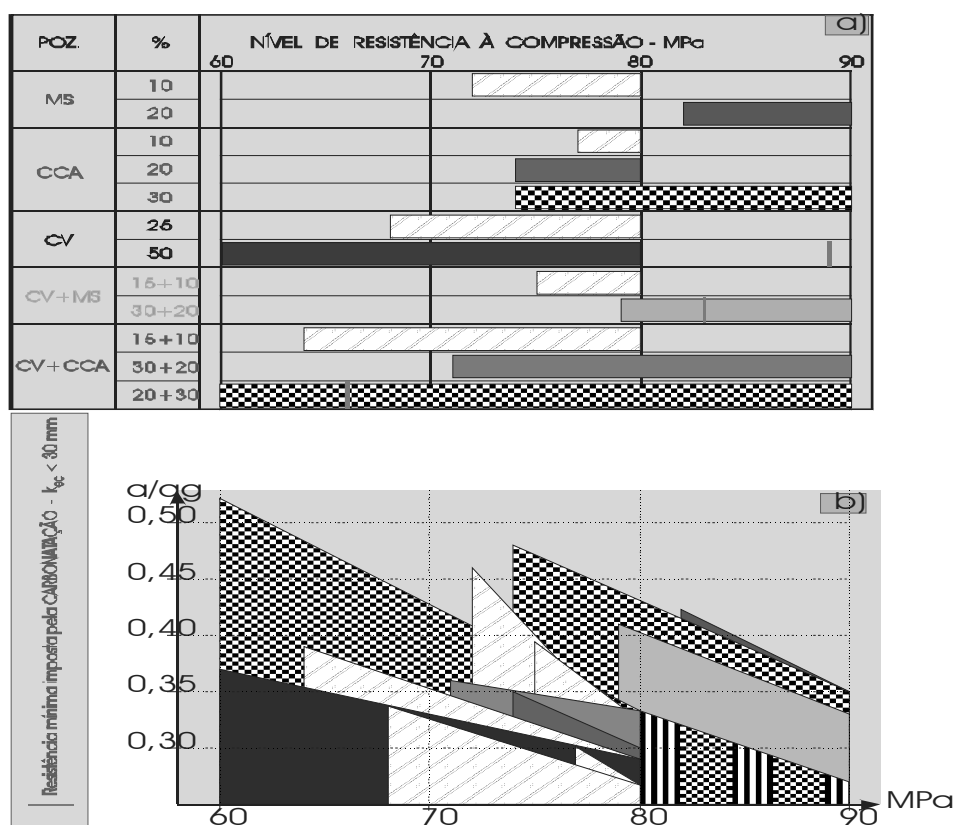


Figura 2.4 – Misturas pozolânicas que atendem simultaneamente as condições impostas no estudo da durabilidade (Isaia, 1995).

Kulakowski (2002), em sua pesquisa, analisou por um modelo de regressão e, posteriormente, realizou uma análise de variância para descobrir o efeito da adição de sílica ativa e da relação  $a/a_g$  na resistência à compressão no concreto. Constatou que as adições de sílica ativa são efetivas no aumento da resistência à

compressão em todos os níveis de relação água/aglomerante. Como o esperado, quanto menor a relação água/aglomerante, maiores são as resistências à compressão, principalmente em função da redução da porosidade da matriz cimentante e da redução da zona de transição pasta/agregado.

#### 2.4.2.3 Carbonatação do concreto

Uma das patologias do concreto armado, com grande incidência e que tem sido largamente estudada é a corrosão das armaduras, seja por carbonatação ou por ataque de cloretos. A carbonatação pode ocasionar a despassivação da armadura e propiciar o início da corrosão, razão pela qual tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas, com o intuito de minimizar o seu efeito sobre as estruturas de concreto.

A carbonatação ocorre pela difusão do  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera e a sua dissolução na água dos poros do concreto, reagindo com hidróxidos, principalmente os CH e C-S-H.

Essas reações ocasionam uma redução de pH do concreto e uma conseqüente despassivação da armadura presente, podendo, sob determinadas condições, ocorrer a corrosão do aço.

A umidade relativa do ar influi diretamente no grau de saturação dos poros. O  $\text{CO}_2$  e outros gases penetram nos poros do concreto por difusão, quando os poros estão saturados. A velocidade de difusão é muito pequena, tornando o processo de carbonatação lento. A baixa umidade, praticamente impede a dissolução da cal sólida e dos gases na água capilar. Estudos mostram que as maiores velocidades de carbonatação ocorrem para umidades relativas entre 50% e 80% (Isaia, Vaguetti e Gastaldini, 1998).

Foi observado por diversos pesquisadores que, entre as principais variáveis que comandam a velocidade de carbonatação do concreto, está a relação água/aglomerante (controla a porosidade e a permeabilidade). A espessura carbonatada apresenta uma curva ascendente de crescimento com a relação a/ag; o processo de cura, sendo importante para evitar a falta de hidratação das partículas de cimento, que ocorre pela evaporação da água para o ambiente e o teor de hidróxido de cálcio (controla a velocidade de carbonatação na transformação do CH

em  $\text{CaCO}_3$ ), presente na mistura (dependendo do teor de substituição de cimento por pozolana ou adição mineral).

Pode-se constatar na Figura 2.5 que, à medida que a resistência aumenta, para todos os traços, há uma diminuição do coeficiente de carbonatação, indicando que a porosidade do concreto acarreta menor penetração de  $\text{CO}_2$  para as reações de carbonatação.

Outra comparação significativa aponta que os coeficientes de carbonatação se ordenaram conforme a atividade pozolânica. Nota-se que os maiores coeficientes foram para as misturas mais reativas, apresentando uma disposição em ordem crescente não só do grau de atividade pozolânica como também do seu teor na mistura.

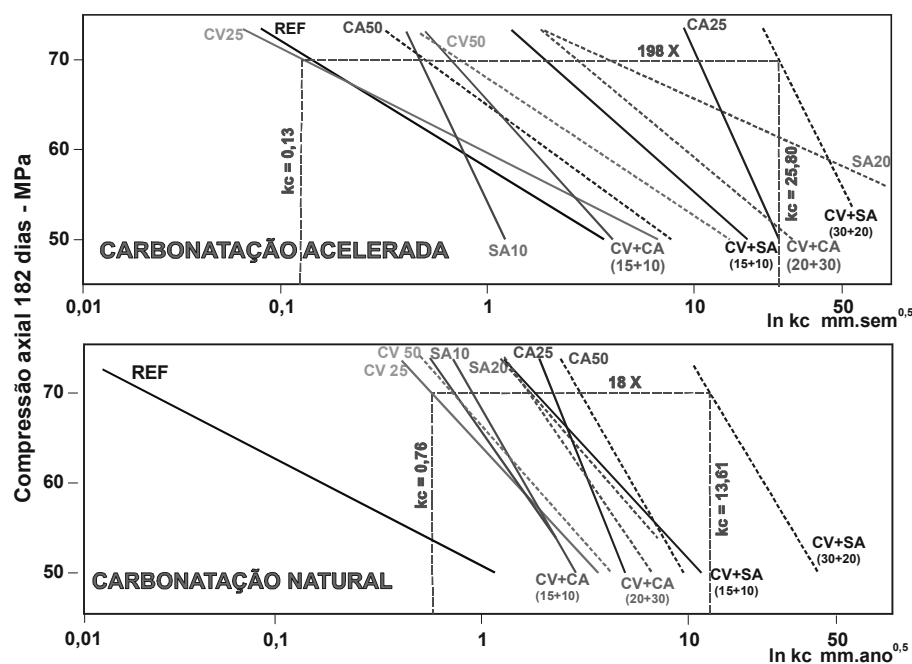


Figura 2.5 – Carbonatação versus resistência à compressão de misturas com adições minerais (Isaia *et al.*, 1998).

Kulakowski (2002) obteve o seguinte modelo estatístico, específico para sua pesquisa, dos dados observados para carbonatação em concreto que foi realizado por meio de regressão não linear múltipla. O modelo proposto para análise está representado pela equação 2.2.

$$Ecc = \text{Exp}\{b_0 + [b_1 * (a / ag)] + (b_2 * ad) + (b_{12} * ac * ad)\} * t^{b_3} \quad (2.2)$$

Onde:

Ecc = profundidade de carbonatação em concreto;

a/ag = relação água/aglomerante;

ad = teor de adição de sílica ativa;

t = idade de ensaio;

bo, b1, b2, b3 e b12 = parâmetros dos fatores considerados no modelo.

#### 2.4.2.4 Permeabilidade do concreto

A permeabilidade do concreto expressa a velocidade de percolação de um fluido através de um meio poroso, através de seus poros intercomunicáveis e depende da diferença de pressão entre os pontos considerados.

A maior ou menor quantidade de água absorvida, a qual chamamos de absorção capilar, facilita ou dificulta a difusão de gases no concreto. A absorção capilar é uma propriedade dos materiais não-saturados. Se a absorção capilar atingir a saturação dos poros do concreto, substâncias dissolvidas na água poderão ser transportadas, não havendo difusão de gases nesta situação, mas, após secagem parcial, a difusão se processará de forma intensa, demonstrando a inter-relação existente entre absorção capilar e difusão de gases (Frizzo, 2001).

A permeabilidade do concreto à água depende, principalmente, da relação água/aglomerante, que determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares e de dimensão máxima dos agregados, que influencia as microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento (Moraes, 2001).

A água em si não é nociva para o concreto armado e, quando da saturação dos poros por esta, provoca uma diminuição de  $10^4$  vezes na percolação de oxigênio através desses; da mesma forma dificulta o ingresso de dióxido de carbono, responsável pela carbonatação do concreto. Diante da disponibilidade de oxigênio, a utilização de adições minerais propicia um refinamento dos poros, logo, atuam sobre a interconectividade e tortuosidade dos mesmos, o que se faz bastante importante, porque, além de dificultar a percolação de oxigênio pelo interior do concreto, ainda segmenta os poros, diminuindo a sucção capilar (Hoppe Filho, 2002).

Segundo Neville (1997), o ingresso e deslocamento de agentes agressivos no concreto, prejudiciais à sua durabilidade, como água pura ou íons agressivos, o

CO<sub>2</sub> e oxigênio (O<sub>2</sub>), dependem, principalmente, da estrutura da pasta de cimento hidratado, pois ocorrem através dos poros e das microfissuras presentes nela. Esse ingresso de fluidos e íons no concreto pode se dar através de vários mecanismos de transporte (absorção capilar, difusão, permeabilidade e migração iônica) dependendo das características químicas e físicas e da concentração superficial das substâncias que penetram e das condições de temperatura e pressão.

Hoppe Filho (2002) observou, em sua pesquisa, que aumentou a absorção capilar de água à medida que cresceu a relação água/aglomerante das misturas investigadas. De uma maneira geral, a utilização das adições minerais resultou em acréscimos na absorção capilar de água, salvo algumas exceções que se destacam com valores inferiores ao referencial na relação água/aglomerante 0,35.

O mesmo autor ainda relatou que o decréscimo na relação água/aglomerante propicia condições favoráveis para a utilização de altos teores de adições minerais, mantendo o desempenho diante da permeabilidade ao oxigênio adequado, ou seja, 91% dos concretos investigados apresentam condições, no mínimo, moderadas frente a esse parâmetro de durabilidade. Com o aumento da demanda de água, estes índices decaíram, passando por 55% na relação água/aglomerante 0,45 e, 45% na 0,55.

Sperb (2003), em relação à absorção capilar, constatou, em seus estudos, que, apesar de todas as misturas apresentarem resultados inferiores aos da mistura de referência, verificou-se grande variação nos resultados entre as mesmas misturas em função do ativador e da relação a/ag. Em geral, o emprego dos ativadores químicos, exceto para a mistura CV20%, diminuiu as quantidades de água absorvida, quando comparados pela média dos resultados das três relações a/ag. Quando comparados em igualdade de resistência para todas as misturas e ativadores estudados, as quantidades de água absorvida foram menores que a da mistura de referência. Quando comparadas entre si, as misturas contendo ativadores químicos apresentaram maiores quantidades de água absorvida do que as respectivas misturas sem ativadores, a não ser para a mistura ternária, composta por E50% e CV20%, a qual apresentou o resultado inverso.



#### 2.4.2.5 Penetração de cloretos

Winck (2002) notou, em seu estudo, que em todos os traços com pozolanas houve um decréscimo da corrente passante pelos corpos-de-prova com o aumento da idade, variando o índice médio, de 28 para 91 dias (entre 1,07 a 2,37 vezes) e o teor de pozolana 12,5 para 50% (entre 1,14 a 7,33 vezes), comparado ao concreto de referência. Nas misturas com filler ocorreu o inverso, ou seja, quanto maior o teor de substituição, maior a penetração de cloretos, mas não houve variação significativa com a evolução da idade. Constatou-se que a variação na relação  $a/ag$  de 0,35 para 0,65 conduz a um aumento na corrente passante. Isso pôde ser justificado pela alteração na distribuição e no tamanho dos poros e, em consequência, um aumento na porosidade total.

Dal Ri (2002) revelou, em sua investigação, que os resultados da penetração de cloretos variaram em função do tipo e características da adição mineral. Ocorreu uma redução com o aumento na idade de 28 para 91 dias, bem como com a diminuição da relação água/aglomerante. Analisando as misturas binárias sem e com a adição de cal hidratada, constatou-se que aos 28 dias, aquelas com cal apresentaram um aumento de 1,15 a 2,57 vezes. Aos 91 dias os acréscimos variaram de 1,04 vezes, para a mistura contendo E70%, a 2,20 vezes para a mistura com CCA50%. Nas misturas ternárias, aos 91 dias, a adição de cal resultou em um acréscimo que variou de 1,01 vezes, para a mistura com CV20%-E70%, e 2,58 vezes, para a mistura contendo CV50%-CCA 20%.

Conforme Isaia (1995), houve maior predomínio do tipo e/ou quantidade de adição mineral sobre a redução da corrente passante do que sobre o aumento da resistência, ou seja, as reações pozolânicas que ocorreram entre a sílica existente nas pozolanas e o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento foram mais efetivas na redução da permeabilidade do sistema a agentes agressivos do que no aumento da resistência.

#### 2.4.2.6 Teor de cloretos retidos totais

Conforme Isaia *et al.* (2002), tanto a penetração quanto a quantidade de cloretos retidos depende da porosidade e da conectividade dos poros, pois estão

ligadas à percolação dos íons pelos canais capilares e a sua fixação através das superfícies de contato com os compostos hidratados.

Winck (2002), em seus estudos, notou que o aumento da relação a/ag leva a maiores valores de cloretos totais retidos. Com a evolução da idade de 28 para 91 dias observou-se um decréscimo no teor total de cloretos retidos, sendo que a queda mais acentuada ocorreu com a mistura CV12,5% e relação a/ag de 0,65 que passou de 0,98% para 0,29%. Para as duas idades estudadas, as misturas com pozolanas obtiveram valores de cloretos retidos totais menores que o concreto de referência passando, em média, de 0,89% para 0,51% aos 28 dias e de 0,76% para 0,37% aos 91 dias. Em relação às misturas binárias observou-se que, em média, quando o teor de substituição variou de 12,5% para 50%, aos 91 dias ocorreu um acréscimo passando de 0,22% para 0,35% nas misturas com CV e nas com CCA uma queda de 0,27% para 0,18%.

Segundo Gomes (2003), uma característica comum a todas as misturas foi o aumento do teor de cloretos retidos com o aumento da relação água/aglomerante. Em geral, as misturas ativadas apresentaram menor teor de cloretos que a mesma mistura sem ativação química.

As misturas ternárias ativadas com sulfato de potássio e com sulfato de sódio (essas nas relações água/aglomerante 0,35 e 0,50) mostraram comportamento contrário. A mistura de referência apresentou os maiores teores de cloretos retidos - 0,178%, 0,193% e 0,224%, nas relações a/ag 0,35, 0,50 e 0,65. Coube à mistura de cinza volante sem ativador os maiores teores retidos - 0,147%, 0,147% e 0,193%, para as relações a/ag 0,35, 0,50 e 0,65, respectivamente. Os menores teores retidos - 0,010%, para as três relações a/ag - corresponderam à mistura binária de escória ativada com sulfato de sódio.

#### 2.4.2.7 Relação iônica $Cl^-/OH^-$

A concentração de íons cloreto depende da concentração de outros íons presentes. Para um dado teor de íons cloreto, quanto maior a concentração de íons hidroxila ( $OH^-$ ), maior a quantidade de cloretos livres. Por esse motivo, considera-se que a relação  $Cl^-/OH^-$  influencia na evolução da corrosão, de acordo com Neville (1997).

Segundo Thomas (1996), o risco de corrosão do aço aumenta com o aumento da relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  presente na solução dos poros, sendo a relação crítica proposta de 0,61.

Para Hussain *et al* (1996), a relação iônica  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  depende da alcalinidade da solução dos poros, sendo que essa relação diminui com o aumento da alcalinidade da solução dos poros.

Gomes (2003) observou, em seus estudos que, as misturas contendo adições minerais, uma vez ativadas, mostraram, em geral, reduções da relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ , em relação a mesma mistura sem ativação. As misturas ternárias, ao contrário, não apresentaram esse mesmo comportamento para as relações a/ag 0,35 e 0,50.

Segundo Isaia *et al.* (2002), os resultados obtidos em igualdade de resistência, para 30 MPa, devido a maior porosidade da pasta, a relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  foi crescente com o teor de pozolana, devido ao maior consumo de CH (menor pH e  $\text{OH}^-$ ), fazendo com que tenha sido a única variável que apresentou aumento de valor com o teor de pozolana. Entretanto, para 70 MPa, devido a menor porosidade e diâmetro crítico e, também, menor retenção de cloretos, os valores dessa relação caíram drasticamente, chegando a uma redução de 94% em relação ao concreto de referência com 30 MPa.

Dal Ri (2002) pôde observar, em suas análises, que os menores valores foram alcançados pelas misturas binárias contendo cinza volante, escória de alto-forno e cinza de casca de arroz, respectivamente. Inclusive com a adição de cal hidratada houve diminuição na relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ . A mistura binária contendo 50% de cinza volante com 15% de cal apresentou a menor relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  entre todas as investigadas com valores de 0,16 para relação a/ag = 0,35, 0,21 para a/ag = 0,45 e 0,31 para a/ag = 0,55, ou seja, inferiores a 0,6, conferindo boas condições de proteção à armadura, muito superior que o concreto de referência, uma vez que para as mesmas relações a/ag (0,35; 0,45 e 0,55) os valores foram 0,76, 1,0 e 1,51, respectivamente.

## 2.5 Considerações sobre pesquisas que utilizaram modelos matemáticos

Inúmeros pesquisadores, ao realizar estudos sobre microestrutura e durabilidade do concreto, utilizaram modelos matemáticos para comprovar os resultados, dentro de um nível de significância pré-estipulado, sendo esses significativos ou não.

Um dos primeiros modelos matemáticos propostos para explicar o desenvolvimento da resistência à compressão a partir dos materiais constituintes do concreto, foi apresentado por Abrams. Trata-se de um modelo obtido a partir de ensaios experimentais constituindo-se em correlações empíricas. Essas correlações têm sido confirmadas sistematicamente por vários pesquisadores.

Dentro dessa perspectiva, tomando-se como referência o modelo matemático de Abrams, obtém-se uma equação (2.3) que explica os fatores intervenientes permitindo, inclusive, avaliar a influência relativa de cada um na variabilidade total do concreto.

$$f_{cj} = \frac{K_1}{K_2^{a/c}} \quad (2.3)$$

Onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão a  $j$  dias de idade;

$K_1$  e  $K_2$  = são constantes que dependem da natureza dos materiais, da idade e das condições de cura;

$a/c$  = relação água/cimento.

Além de Abrams, outros pesquisadores formularam modelos para explicar os fatores que influem nas propriedades do concreto.

A penetração de  $CO_2$  e íons cloretos no concreto é regida pelo mecanismo de difusão e pode ser modelada conforme a primeira lei de Fick, onde a penetração é diretamente proporcional à diferença de concentração entre dois meios.

A primeira e a segunda Lei de Fick são representadas pelas equações 2.4 e 2.5.

$$F = -D * \frac{dC}{dx} \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.5)$$

Onde:

F = massa de soluto transportada (kmol/m<sup>2</sup>/s);

D = coeficiente de difusão (m<sup>2</sup>/s);

C = concentração do soluto (kmol/m<sup>3</sup>);

X = a distância a partir de um ponto de origem (m);

t = tempo (s).

O fenômeno da carbonatação é um processo de difusão, sua evolução depende da raiz quadrada do tempo (t), ou seja, a interface alcalina que penetra em direção ao interior do concreto quase linearmente em relação à raiz quadrada da idade do concreto.

Assim, é usual a representação da evolução da frente carbonatada pela equação 2.6, sendo expressa usualmente em mm/ano<sup>0,5</sup>.

$$X = K * t^n \quad (2.6)$$

Onde:

X = profundidade carbonatada;

K = constante de difusão e concentração do CO<sub>2</sub>;

t = tempo de exposição ao CO<sub>2</sub>;

n = condições de exposição, internas igual a 0,5.

Na equação 2.7 de Hagen-Poiseuille para fluxo laminar de um fluido compressível através de corpos porosos, é realizada a determinação do coeficiente de permeabilidade ao oxigênio.

$$K_i = \frac{2 * P_a * Q_i * L * \mu}{A * (P_i^2 - P_a^2)} \quad (2.7)$$

Onde:

$K_i$  = Coeficiente de permeabilidade ao oxigênio na pressão  $i$  ( $m^2$ );

$P_a$  = Pressão atmosférica absoluta (Pa);

$Q_i$  = Taxa de fluxo na pressão  $i$  ( $m^3/s$ );

$L$  = Espessura do corpo-de-prova (m);

$\mu$  = Viscosidade dinâmica do oxigênio a  $20^\circ C \pm 1^\circ C$  (Pa.s);

$A$  = Seção transversal do corpo-de-prova ( $m^2$ );

$P_i$  = Pressão absoluta de ensaio aplicada (Pa).

Nanni e Ribeiro (1987), descreveram o modelo estatístico genérico que expressa uma análise fatorial de K-Fatores que é apresentado pela equação 2.8.

$$X_{ijk1} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijk1} \quad (2.8)$$

Onde:

$X_{ijk1}$  = variável que se está buscando;

$\mu$  = média geral;

$A_i$  = influência do fator A,  $i = 1 \dots n$ ;

$B_j$  = influência do fator B,  $j = 1 \dots n$ ;

$C_k$  = influência do fator C,  $k = 1 \dots n$ ;

$AB_{ij}$  = influência da interação dos fatores A e B;

$AC_{ik}$  = influência da interação dos fatores A e C;

$BC_{jk}$  = influência da interação dos fatores B e C;

$ABC_{ijk}$  = influência da interação de todos os fatores;

$\varepsilon_{ijk1}$  = medida do erro experimental, onde  $\varepsilon_{ijk1} \rightarrow N(0, \sigma)$ .

Segundo Cascudo (2000), os projetos fatoriais são mais eficientes do que os experimentos simples, pois permitem tirar conclusões mais gerais, por meio de análise das interações das variáveis estudadas e não apenas dos efeitos individuais dessas.

Vieira (2003), teve por objetivo, em seus estudos, avaliar o efeito da sílica ativa na corrosão da armadura desencadeada por íons cloreto, resistência à compressão, teor de cloretos em concretos com relação água/aglomerante de 0,40 a

0,70 e teores de sílica ativa até 20%, nas idades de 7 a 182 dias. A análise dos resultados foi realizada utilizando a regressão múltipla não-linear, originando um modelo matemático que explica, para um determinado nível de significância, o efeito das variáveis independentes e as possíveis interações na variável de resposta. Através da análise de variância foi possível determinar a significância dos fatores independentes e das interações sobre a variável de resposta. O mesmo autor obteve as seguintes respostas para seus modelos:

- o modelo de resistência apresentado na equação 2.1 do item 2.4.2.2, apresentou uma significância 'p' menor que 0,01, indicando que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa a um nível de confiança de 99%. O coeficiente de determinação  $r^2$  obtido de 0,94 indica que o modelo explica 94% da variabilidade dos valores observados.
- as variáveis relação a/ag e teor de sílica ativa têm influência sobre a profundidade de carbonatação. Para comprovar o efeito das variáveis, foi realizada a análise estatística dos resultados, obtendo um modelo que representa o comportamento observado na equação 2.9. Do modelo resultou um valor de  $r^2$  de 0,96, indicando que o mesmo ajusta 96% dos valores observados e o valor 'p' menor que 0,01 indica que as variáveis representadas relacionam-se com um nível de confiança de 99%.

$$P_{carb} = \text{Exp}\{b_0 + [b_1 * (a / ag)] + [b_2 * (a / ag) * sa]\} * t^{b_3} \quad (2.9)$$

Onde:

$P_{carb}$  = profundidade de carbonatação (mm);

a/ag = relação água/aglomerante;

sa = teor de adição de sílica ativa (%);

t = tempo (dias);

$b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  = parâmetros dos fatores considerados no modelo.

Como enfoque de pesquisa, Kulakowski (2002) observou a influência no concreto e na argamassa das seguintes variáveis: relação água/aglomerante (0,30 a 0,80), teor de sílica ativa (5 a 20%) e idade de ensaios (7 a 126 dias). Os resultados foram observados por meio de regressão múltipla não-linear e linear e, em seguida,

realizada a ANOVA do modelo obtido para se determinar o nível de significância de cada variável e suas interações no modelo, obtendo as seguintes respostas:

- o modelo de carbonatação mostrado na equação 2.2, do item 2.4.2.3, apresentou uma significância 'p' menor que 0,01, indicando que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa a um nível de confiança de 99%. O coeficiente de determinação obtido de 0,95 indica que o modelo explica 95% da variabilidade dos valores observados para profundidade de carbonatação em concreto;
- o modelo gerado para o comportamento previsto pela análise de regressão, para os dados observados de taxa de absorção em concreto, é descrito na equação 2.10. Deste modelo resultou um valor de  $r^2$  de 0,92, indicando que o mesmo ajusta 92% dos valores observados e o valor 'p' menor que 0,01 indica que as variáveis representadas relacionam-se com um nível de confiança de 99%.

$$S_c = \{b_0 + [b_1 * \ln(a/a_g)] + (b_2/ad) + [b_{12} * \ln(a/a_g)/ad]\} \quad (2.10)$$

Onde:

$S_c$  = taxa de absorção em concreto ( $\text{mm}/h^{0,5}$ );

$a/a_g$  = relação água/aglomerante, compreendendo intervalo de 0,30 a 0,80;

$ad$  = teor de adição, compreendendo um intervalo de valores codificados de 0,5 a 1,5 para valores respectivos de 0 a 20%;

$b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_{12}$  = parâmetros dos fatores considerados no modelo.



### CAPÍTULO III

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

---

A fim de alcançar os objetivos propostos para esse estudo, foram utilizadas as seguintes ferramentas: análise de variância ou 'ANOVA', regressão linear simples e regressão linear múltipla.

Segundo Levine *et al.* (1998), quando algumas medidas de resultado ao longo dos grupos são contínuas e certos pressupostos são cumpridos, pode-se empregar uma metodologia conhecida como análise de variância ou 'ANOVA' para comparar as médias aritméticas de distintos grupos. Em certo sentido, o termo "análise de variância" parece ser um nome mal aplicado, uma vez que o objetivo é analisar diferenças entre as médias aritméticas. No entanto, a partir de uma análise na variação dos dados, entre ou dentro dos grupos, existe a possibilidade de tirar conclusões sobre possíveis diferenças nas médias aritméticas desses. Na análise de variância, subdivide-se a variação total nas medidas de resultados, naquilo que se pode atribuir a diferenças entre os grupos e aquilo que se deve ao acaso ou se atribui a variações inerentes aos grupos. A variação "dentro do grupo" é considerada um erro experimental, enquanto a variação "entre grupos" é atribuída a efeitos de tratamento.

Para consecução dos objetivos propostos realizaram-se análises estatísticas dos dados obtidos através do programa 'Statistica StatSoft 6.0':

- Análise estatística de variância entre cada uma das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, com as variáveis independentes básicas de cada grupo, em conjunto e individualmente, ou seja, tipo e teor de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão;
- Regressão linear simples entre cada uma das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade com as variáveis independentes básicas de cada grupo, individualmente;

- Regressão linear múltipla entre cada uma das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, com as variáveis independentes básicas de cada grupo, em conjunto.

Dentro dessa perspectiva, pretende-se embasar essas análises a partir do uso das ferramentas supracitadas, a fim de se inferir resultados qualitativos sobre o concreto, a partir dos estudos quantitativos.

### **3.1 Variáveis dos projetos em estudo**

A seguir, serão descritas as variáveis dos projetos que foram desenvolvidos no Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto, 'GEPECON'.

Todas as pesquisas, que seguem relacionadas abaixo, utilizaram sempre o mesmo tipo de aglomerante, cimento Portland de alta resistência inicial, CP-V ARI, de acordo com a NBR 5733. Esse cimento foi escolhido por apresentar um alto desempenho com o menor teor de adições e elevado teor de silicatos tricálcicos ( $C_3S$ ), entre os disponíveis no mercado nacional.

Empregou-se, como agregado miúdo, areia natural de origem quartzosa, proveniente da localidade do Arenal, em Santa Maria, RS. Essa areia foi lavada para a retirada dos finos e material argiloso, sendo, posteriormente, passada na peneira 4,8 mm. Foi, então, seca em estufa e armazenada em caixas de madeira com tampa. Um ensaio granulométrico caracterizou como areia média, pertencente à zona 2 da norma.

O agregado graúdo era proveniente de rocha diabásica britada, lavada e classificada como brita 1. A brita foi peneirada, utilizando-se a fração passante na peneira 19,0 mm e retida na peneira 6,3 mm. Posteriormente foi lavada, seca ao ar e estocada em caixa fechada. Esse agregado procede do município de Itaara, RS.

Os projetos que integram esse estudo foram pesquisados em diversas idades que variaram entre 7 a 182 dias, mas somente a idade aos 91 dias está contida em todos e encontram-se no Anexo A.

### 3.1.1 Variáveis do Projeto 1POZ (efeitos físicos e pozolânicos)

Esse projeto compõe-se de três dissertações realizadas pelos seguintes autores: Alves (2000), Moraes (2001) e Winck (2002). As variáveis da microestrutura relacionadas com os ensaios de porosimetria são do trabalho de Isaia *et al.* (2002).

Logo, teve como objetivo investigar a influência que a substituição de parte do cimento por adições minerais, como a cinza volante, cinza de casca de arroz e filler calcáreo, exercem sobre algumas propriedades ligadas à durabilidade do concreto.

Assim, se quantificou o efeito físico e pozolânico através da substituição de parte do material cimentício por pozolânico ou material inerte.

#### ☐ Variáveis independentes:

- relação água/aglomerante: em massa 0,35, 0,50 e 0,65;
- idade de ensaio: 7, 28, 91 e 182 dias para resistência à compressão axial e 28 e 91 dias para as demais propriedades a serem estudadas. Cabe destacar que foram selecionados para o estudo estatístico apenas os dados aos 91 dias.
- tipo de adição mineral:
  - cinza volante;
  - cinza de casca de arroz;
  - cinza volante com cinza de casca de arroz;
  - filler calcário.
- teores de adições minerais:
  - cinza volante: 12,5%, 25% e 50%;
  - cinza de casca de arroz: 12,5%, 25% e 50%;
  - cinza volante com cinza de casca de arroz: (12,5+12,5) % e (25+25) %;
  - filler calcário: 12,5%, 25% e 50%.

#### ☐ Variáveis dependentes:

- variáveis da microestrutura:
  - *teor de hidróxido de cálcio remanescente* (método de ensaio prescrito pela NBR 5748);

- *teor de água combinada;*
- *volume total de intrusão de mercúrio;*
- *área total dos poros;*
- *porosidade total;*
- *diâmetro crítico;*
- *diâmetro médio dos poros;*
- *diâmetro dos poros.*

Para os ensaios de porosimetria não foi encontrada norma que prescreve como realizá-la.

- variáveis da durabilidade:
  - *resistência à compressão* (método de ensaio prescrito pela NBR 5738 e NBR 5739);
  - *coeficiente de carbonatação* (método de ensaio prescrito pelo RILEM CPC - 18, com concentração de 5% de CO<sub>2</sub>);
  - *difusão à água* (ensaio conforme método de Dan *et al.*, 1988);
  - *penetração de cloretos* (ensaio prescrito pela ASTM C1202/97);
  - *teor de cloretos retidos totais* (ensaio prescrito pela ASTM C1152/97).

### 3.1.2 Variáveis do Projeto 2CAL (efeitos da cal hidratada)

Esse projeto compõe-se de três dissertações realizadas pelos seguintes autores: Dal Ri (2002), Hoppe Filho (2002) e Stumpp (2003) e objetivou investigar, sob o ponto de vista da durabilidade, a utilização de altos teores de adições minerais, substituindo, em massa, o cimento Portland, conjugado com a adição da cal hidratada, em concretos estruturais.

A utilização da cal hidratada como adição, sem considerá-la como aglomerante, em termos de dosagem, permite comparações e correlações quantitativas de concretos idênticos com e sem o seu emprego e destes com o concreto de referência.

#### ☐ Variáveis independentes:

- relação água/aglomerante: em massa 0,35, 0,45 e 0,55;

- idade de ensaio: 28 e 91 dias para resistência à compressão axial e penetração de cloretos e 91 dias para as demais propriedades a serem estudadas. Foram selecionados para o estudo estatístico apenas os dados aos 91 dias.
- tipo de adição mineral:
  - cinza volante;
  - cinza de casca de arroz;
  - cinza volante com cinza de casca de arroz;
  - cinza volante com escória de alto-forno;
  - escória de alto-forno;
  - cal hidratada.
- teores de adições:
  - cinza volante: 50% com e sem cal (15%);
  - cinza de casca de arroz: 50% com e sem cal (18%);
  - escória de alto-forno: 50% com e sem cal (15%);
  - cinza volante com cinza de casca de arroz: (50+20)% com e sem cal (18%);
  - cinza volante com escória de alto-forno: (20+70)% com e sem cal (18%).

A cal hidratada foi utilizada como adição aos materiais cimentícios, em teores aproximados aos da reposição de hidróxido de cálcio, ou seja, com teores de 15 e 18%, dependendo do traço, com o objetivo de restabelecer a reserva alcalina e o pH dos concretos com adições.

☐ Variáveis dependentes:

- *resistência à compressão* (método de ensaio prescrito pela NBR 5738 e NBR 5739);
- *coeficiente de carbonatação* (método de ensaio prescrito pelo RILEM CPC - 18, com concentração de 5% de CO<sub>2</sub>);
- *absorção capilar* (método de ensaio prescrito pelo RILEM TC 116-PCD – RILEM de 1999);
- *penetração de cloretos* (ensaio prescrito pela ASTM C1202/97);
- *permeabilidade ao oxigênio* (método de ensaio prescrito pelo RILEM TC 116-PCD – RILEM de 1999);

- *teor de hidróxido de cálcio remanescente* (método de ensaio prescrito pela NBR 5748);
- *relação iônica  $Cl^-/OH^-$* .

### 3.1.3 Variáveis do Projeto 3ATI (efeito de ativadores)

Esse projeto compõe-se de duas dissertações realizadas pelos seguintes autores: Gomes (2003) e Sperb (2003). O objetivo foi verificar a influência dos ativadores químicos em concretos com misturas binárias e ternárias de escória de alto-forno, cinza volante e cinza de casca de arroz.

#### ☐ Variáveis independentes:

- relação água/aglomerante: em massa 0,35, 0,50 e 0,65;
- idade de ensaio: 7, 28, 91 dias para compressão axial, 4, 8 e 12 semanas para carbonatação acelerada, 28 e 91 dias para penetração de cloretos e 91 dias para as demais propriedades a serem estudadas. Foram selecionados para o estudo estatístico apenas os dados aos 91 dias.
- tipo de adição mineral:
  - cinza volante;
  - cinza de casca de arroz;
  - escória de alto-forno com cinza de casca de arroz;
  - escória de alto-forno.
- teores de adições minerais:
  - cinza volante: 20% ;
  - cinza de casca de arroz: 20%;
  - escória de alto-forno: 70%;
  - escória de alto-forno com cinza de casca de arroz: (50%+20%).

#### ☐ Variáveis dependentes:

- *resistência à compressão axial* (método de ensaio prescrito pela NBR 5738 e NBR 5739);
- *coeficiente de carbonatação* (método de ensaio prescrito pelo RILEM CPC - 18, com concentração de 10% de  $CO_2$ );

- *absorção capilar* (método de ensaio prescrito pelo RILEM TC 116-PCD – RILEM de 1999);
- *penetração de cloretos* (ensaio prescrito pela ASTM C1202/97);
- *teor de cloretos retidos totais* (ensaio prescrito pela ASTM C1152/97);
- *relação iônica  $Cl^-/OH^-$* .

Nessas pesquisas foram empregados ativadores químicos para aumentar a resistência à compressão de concretos compostos com adições minerais. Dentre os ativadores e concentrações, com melhores resultados encontrados, o sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), o sulfato de sódio ( $Na_2SO_4$ ), o sulfato de alumínio ( $Al_2SO_4$ ) e o silicato de sódio ( $Na_2SiO_3$ ), com concentrações variando de 1% a 4%.

### 3.1.4 Variáveis do Projeto 4FIN (efeito da finura)

Esse projeto compõe-se de uma dissertação realizada por Costa (2001), que teve por objetivo investigar o efeito da finura e teor de substituição de escória de alto-forno na resistência à compressão, permeabilidade a cloretos e relação iônica  $Cl^-/OH^-$ .

#### ☐ Variáveis independentes:

- relação água/aglomerante: em massa 0,35, 0,50 e 0,65;
- idade de ensaio: 7, 28, 91 dias para compressão axial, 28 e 91 dias para penetração de cloretos e relação iônica  $Cl^-/OH^-$ . Foram selecionados para o estudo estatístico apenas os dados aos 91 dias.
- tipo de adição mineral:
  - escória de alto-forno.
- teores de adições minerais:
  - escória de alto-forno: 35% e 70%.
  - finura blaine: 300, 500 e 700  $m^2/Kg$ .

#### ☐ Variáveis dependentes:

- *resistência à compressão* (método de ensaio prescrito pela NBR 5738 e NBR 5739);
- *penetração de cloretos* (ensaio prescrito pela ASTM C1202/91);
- *relação iônica  $Cl^-/OH^-$* .

### 3.1.5 Variáveis do Projeto 5CAR (efeitos na carbonatação)

Esse projeto se compõe de uma dissertação realizada por Vagheti (1999). O objetivo principal foi a investigação da influência das pozolanas na microestrutura dos concretos, com respeito à carbonatação e conteúdo de hidróxido de cálcio remanescente.

#### ☐ Variáveis independentes:

- relação água/aglomerante: em massa 0,35, 0,45 e 0,55;
- idade de ensaio: 7, 28, 91 e 182 dias para a compressão axial; 91 dias para os ensaios de teor de hidróxido de cálcio e alcalinidade; e, ½, 1, 2, 3, 4 e 5 anos para a carbonatação natural. Foram selecionados para o estudo estatístico apenas os dados aos 91 dias.
- tipo de adição mineral:
  - sílica ativa;
  - cinza volante;
  - cinza de casca de arroz;
  - cinza volante com sílica ativa;
  - cinza volante com cinza de casca de arroz.
- teores de adições minerais:
  - sílica ativa: 10% e 20%;
  - cinza volante: 25% e 50%;
  - cinza de casca de arroz: 25% e 50%;
  - cinza volante com sílica ativa: (15%+10%) e (30%+20%);
  - cinza volante com cinza de casca de arroz: (10%+15%) e (20%+30%).

#### ☐ Variáveis dependentes:

- *resistência à compressão axial* (método de ensaio prescrito pela NBR 5738 e NBR 5739);
- *coeficiente de carbonatação* (método de ensaio prescrito pelo RILEM CPC - 18, com concentração de 10% de CO<sub>2</sub>);
- *teor de hidróxido de cálcio remanescente* (método de ensaio prescrito pela NBR 7227).



Tabela 3.1 - Resumo dos projetos realizados no Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto 'GEPECÓN'

| TIPO/PROJETO                    | PROJETO 1POZ   | PROJETO 2CAL  | PROJETO 3ATI   | PROJETO 4FIN  | PROJETO 5CAR  |                          |
|---------------------------------|--|---|--|---|---|--------------------------|
| Cimento                         | CP-V ARI   | CP-V ARI  | CP-V ARI   | CP-V ARI  | CP-V ARI  |                          |
| Adição Mineral + Teor de Adição | Cinza Volante<br>12,5%, 25% e 50%<br>Cinza de Casca de Arroz<br>12,5%, 25% e 50%<br>Filler Calcáreo<br>12,5%, 25% e 50%<br>CV + CCA<br>(12,5%+12,5%) e (25%+25%)                             | Cinza Volante<br>50% e (+15% cal)<br>Cinza de Casca de Arroz<br>50% e (+18% cal)<br>Escória de Alto Forno<br>70% e (+15% cal)<br>CV + CCA<br>(50%+20%) e (+18% cal)<br>CV + E<br>(20%+70%) e (+18% cal) | Cinza Volante<br>20% e (+ativadores)<br>Cinza de Casca de Arroz<br>20% e (+ativadores)<br>Escória de Alto Forno<br>70% e (+ativadores)<br>E + CCA<br>(50%+20%) e (+ativadores) | Escória de Alto Forno<br>35%<br>70%<br>Finuras<br>300 m2/Kg<br>500 m2/Kg<br>700 m2/Kg | Cinza Volante<br>25% e 50%<br>Cinza de Casca de Arroz<br>25% e 50%<br>Silica Ativa<br>10% e 20%<br>CV + S.A<br>(15%+10%) e (30%+20%)<br>CV + CCA<br>(10%+15%) e (20%+30%) |                          |
| Origem das Adições              | CV   | Usina Termelétrica-Candiota/RS  |  |   | -   | Riocel - Guaíba/RS       |
|                                 | CCA  | Engenho - Santa Maria/RS  |  |   | -   | Engenho - Santa Maria/RS |
|                                 | E  | -   | Siderúrgica Nacional   |   |   | -                        |
|                                 | SA   | -   | -  | -   | -   | Fabricante Nacional      |
|                                 | F  | Caçapava do Sul/RS  | -  | -   | -   | -                        |
| Areia (mod.finura)              | 2,74   | 2,16  | 2,02   | 2,74  | 1,81  |                          |
| Brita (mod.finura)              | 6,75   | 6,60  | 6,97   | 6,75  | 6,91  |                          |
| Aditivo                         | Superplastificante, base de naftaleno, tipo F, isento de cloretos.   | Superplastificante, base de naftaleno, tipo S, isento de cloretos.  | Superplastificante à base de éter carboxílico modificado.  | Superplastificante, base de naftaleno, tipo S, isento de cloretos.                    | Superplastificante "Sikament" isento de cloretos.   |                          |
| Relação a/ag                    | 0,35<br>0,50<br>0,65   | 0,35<br>0,45<br>0,55  | 0,35<br>0,50<br>0,65   | 0,35<br>0,50<br>0,65  | 0,35<br>0,45<br>0,55  |                          |
| Abatimento                      | 45 - 75mm  | 45 - 75mm   | 60 - 80mm  | 50 - 70mm   | 45 - 75mm   |                          |
| Ensaio Realizados               | Resistência à Compressão, Coeficiente de Carbonatação, Difusão a Água, Penetração de cloretos, Teor de Cloretos Retidos, Teor de Hidróxido de Cálcio, Porosimetria e Teor de Água Combinada. | Resistência à Compressão, Coeficiente de Carbonatação, Absorção Capilar, Penetração de Cloretos, Permeabilidade ao Oxigênio, Teor de Hidróxido de Cálcio e Relação Iônica Cl-/OH-.                      | Resistência à Compressão, Coeficiente de Carbonatação, Absorção Capilar, Penetração de cloretos, Teor de Cloretos Retidos e Relação Iônica Cl-/OH-.                            | Resistência à Compressão, Penetração de Cloretos e Relação Iônica Cl-/OH-.            | Resistência à Compressão, Coeficiente de Carbonatação e Teor de Hidróxido de Cálcio.  |                          |

### 3.2 Descrição da análise dos dados

Neste item, são apresentados e discutidos os métodos de análises dos resultados obtidos através dos projetos de pesquisas citados anteriormente.

Os resultados individuais das variáveis, levantadas nesse estudo, foram submetidas a uma análise de variância 'ANOVA', mesma estratégia adotada em outras pesquisas da área.

O objetivo da análise de variância é identificar se os valores das variáveis de resposta, medidas em diferentes níveis, diferem significativamente do ponto de vista estatístico entre si. A técnica consiste em comparar grupos de observações através da comparação da variabilidade das médias entre os diferentes grupos com a variabilidade das observações dentro de cada grupo.

A significância estatística da variabilidade das médias entre os grupos, isto é, o efeito de uma determinada variável independente sobre uma variável resposta é determinado através de um teste, que consiste em comparar valores calculados e tabelados, para um determinado nível de significância de uma função de distribuição da probabilidade  $F$  (Distribuição de Fisher).

Optou-se pela utilização da Tabela de distribuição de Fisher (para um nível de confiança de 95%) para melhor comparar os resultados dos  $F_{cal}$  juntamente com o sua significância 'p-level', que o programa computacional adotado nos informa.

Se  $F$  calculado ( $F_{cal}$ ) é maior que  $F$  tabelado ( $F_{tab}$ ), a hipótese, de que o efeito do valor considerado não seja significativo, é rejeitada. O valor  $F_{cal}$  é determinado para cada variável independente pelo quociente entre a média quadrada do efeito (variância) e a média quadrada do termo de erro, ou seja,  $F_{cal} = MQ_{modelo}/MQ_{erro}$ . O valor de  $F_{tab}$  está relacionado com o nível de significância dos graus de liberdade (GDL) do termo erro e do efeito analisado. O valor de  $F_{tab}$  é igual a  $F_{\alpha=0,05}(v1,v2)$ , obtidos da Tabela B.1 do Anexo B, sendo  $v1$  e  $v2$  os graus de liberdade do efeito avaliado e do resíduo ou erro, respectivamente. A análise estatística de variância 'ANOVA' foi calculada pelo programa 'Statistica StatSoft 6.0', utilizando um nível de confiança de 95%.

Adotou-se nível de confiança de 95% para as análises de variância e regressões dos resultados obtidos dos projetos desenvolvidos pelo 'GEPECON', porque, na maioria dos experimentos com materiais para fins estruturais, se adota

este valor como referência para aceitação do erro. Alguns pesquisadores, como Castro (2003) e Ferreira (2003), adotaram índice de confiança de 95%. Já Kulakowski (2002) considera que até 90% poderia ser adotado significativo.

Para observar as influências das adições minerais nas propriedades do concreto, dividiram-se as análises dos projetos em duas etapas: na primeira, foram selecionadas as misturas sem adições, denominados de concreto de referência, composto somente de cimento Portland (CP-V ARI), para evidenciar a análise de variância e regressão linear simples entre todas as variáveis, uma a uma de cada projeto. Na segunda etapa, observaram-se somente as misturas com adições minerais, repetindo novamente todas as análises realizadas para a primeira etapa, diferindo apenas a análise desses feita em conjunto, tendo uma regressão linear múltipla, gerando um modelo matemático geral para todas as variáveis envolvidas no projeto em questão.

### 3.2.1 Demonstração da metodologia aplicada

A seguir temos o detalhamento da metodologia que foi utilizada, exemplificado através do cálculo da variável do teor de hidróxido de cálcio do Projeto 2CAL na análise das misturas com e sem a adição da cal hidratada.

A Tabela 3.2 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo obtido e a Tabela 3.3 apresenta os parâmetros calculados para as variáveis independentes analisadas.

Tabela 3.2 – ANOVA para o modelo de regressão linear múltipla do teor de hidróxido de cálcio remanescente do Projeto 2CAL.

| Efeito         | SQ       | GL | MQ       | $F_{cal}$ | Significância 'p' | Resultado     |
|----------------|----------|----|----------|-----------|-------------------|---------------|
| Modelo         | 67513,17 | 4  | 16878,29 | 48,16     | 0,0001            | Significativo |
| Erro (resíduo) | 8761,30  | 25 | 350,45   |           |                   |               |
| Total          | 76274,47 |    |          |           |                   |               |

$$r = 0,94 \text{ e } r^2 = 0,88$$

Onde:

SQ = soma dos quadrados; GL = grau de liberdade; MQ = média dos quadrados;

F = parâmetro de Fischer para o teste de significância dos efeitos;

$r^2$  = coeficiente de determinação do modelo (1-SQerro/SQtotal)

r = coeficiente de correlação do modelo

A análise de variância (Tabela 3.2) do modelo resultou em um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,88, indicando que o modelo ajusta 88% dos valores observados para o teor de hidróxido de cálcio remanescente e o valor 'p' do modelo menor que 0,01 indica que as variáveis representadas no modelo relacionam-se com o nível de confiança de 99%.

Tabela 3.3 – Parâmetros calculados para as variáveis independentes analisadas para o teor de hidróxido de cálcio remanescente.

| Variável Independente | Parâmetro | Estimativa | Erro padrão | Teste t | Significância 'p' |
|-----------------------|-----------|------------|-------------|---------|-------------------|
| Constante             | b0        | -4234,64   | 345,90      | -12,24  | 0,0000            |
| Tipo                  | b1        | 38,27      | 3,26        | 11,73   | 0,0000            |
| Teor                  | b2        | -7,03      | 0,67        | -10,46  | 0,0000            |
| a/ag                  | b3        | 327,87     | 82,33       | 3,98    | 0,0005            |
| fc                    | b4        | 2,12       | 0,46        | 4,56    | 0,0001            |

Considerando as variáveis analisadas no modelo, os resultados da Tabela 3.3 indicam que as variáveis independentes analisadas tipo e teor de adição mineral, relação água/aglomerante e resistência à compressão são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 99%, pois apresentam um valor de 'p' menor que 0,01.

O modelo de comportamento previsto pela análise de regressão linear múltipla, para os dados observados do teor de hidróxido de cálcio no concreto, é descrito na equação 2.11.

$$CH = b_0 + b_1 * \text{Tipo} + b_2 * \text{Teor} + b_3 * a/ag + b_4 * fc \quad (2.11)$$

Entretanto, as variáveis independentes analisadas com significância superior a 5%, foram consideradas nos modelos adotados, a fim de proceder correlações com outras variáveis de resposta das análises desenvolvidas.

Os resultados dessas análises de regressões lineares foram classificados em quatro grupos: muito forte, forte, média, fraca.

- Muito Forte, quando os resultados dos coeficientes de determinação 'rrr' encontram-se superiores a 0,90;

- Forte, quando os resultados dos coeficientes de determinação '**rrr**' encontram-se entre 0,70 e 0,90;
- Média, quando os resultados dos coeficientes de determinação '**rr**' encontram-se entre 0,50 e 0,70;
- Fraca, quando os resultados dos coeficientes de determinação '**r**' encontram-se inferior a 0,50.

Já os resultados das análises de variâncias foram classificados em três grupos: forte, média, fraca.

- Forte, quando os resultados de significância '**ppp**' encontram-se inferior a 0,05;
- Média, quando os resultados de significância '**pp**' encontram-se entre 0,05 e 0,10;
- Fraca, quando os resultados de significância '**p**' encontram-se superior a 0,10.

Todos os resultados obtidos do programa 'Statistica StatSoft 6.0', referentes às análises de variância, foram agrupados no Anexo A e os resultados referentes as regressões lineares estão reunidos no Anexo C.

Os tratamentos estatísticos de cada projeto serão apresentados no próximo capítulo.

## **ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---

### **4.1 Introdução**

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos nos projetos experimentais do Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto, 'GEPECON'.

Após a coleta dos dados, obtidos através das pesquisas do grupo, foram realizadas as análises e interpretações dos resultados para que pudesse responder as questões da pesquisa, ou seja, interligar objetivos, variáveis e dados, por meio de ferramentas estatísticas.

Através da análise estatística de variância (ANOVA), foram analisadas as variáveis independentes que influenciam nas variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade do concreto, a fim de avaliar se as variáveis independentes têm uma influência significativa nos resultados dos ensaios.

A partir disso, foi possível estabelecer a significância das variáveis independentes e das interações sobre a variável de resposta, determinada a partir da análise de variância dos termos dos modelos obtidos. Também, são apresentados os coeficientes de determinação através da regressão linear simples e múltipla entre as variáveis de resposta estudadas na presente pesquisa.

Cabe salientar que os modelos obtidos da análise dos dados são gerais, ou seja, revelam a natureza das variáveis independentes: tipo e teor de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão sobre as variáveis dependentes de resposta, isto é, da microestrutura e durabilidade dos projetos avaliados estatisticamente.

## 4.2 Análise estatística dos resultados obtidos através das pesquisas realizadas no GEPECON

Procurando uma maior compreensão sobre o comportamento dos concretos com adições, bem como o desempenho dessas adições minerais, foi realizada uma análise das quatro variáveis independentes: tipo e teor de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão, mediante análise de variância e regressão linear. Esse, além de facilitar as discussões dos referidos comportamentos, teve como intenção avaliar a performance dos concretos frente as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade.

Os referidos resultados foram agrupados por projetos de pesquisa para se ter uma visão global dos níveis de correlação e significância entre as variáveis estudadas.

Tendo em vista, que os dados disponíveis para análise dos resultados de cada projeto eram decorrentes de valores médios e não individuais (repetições), foram encontradas eventuais distorções entre o nível de significância e o coeficiente de determinação, por ocasião das análises de variância e aplicação dos modelos de regressão linear simples e múltipla. Esse fato foi constatado nas seguintes situações:

- Significância fraca ( $p$ ) e coeficiente de determinação forte e muito forte ( $rrr'$  e  $rrr$ ) – quando isso ocorre, diz-se que não existem evidências estatísticas de que as médias dos dados sejam diferentes. O alto valor do coeficiente de determinação significa que a variação total dos dados pode ser explicada por esse modelo de regressão.
- Significância forte ( $ppp$ ) e coeficiente de determinação fraco ( $r$ ) – nesse caso, diz-se que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias, mas o baixo valor do coeficiente de determinação significa que a variação total dos dados não pode ser explicada por esse modelo de regressão, pois os pontos estão muito dispersos.

A ocorrência desses fatos deve-se ao modo como as análises estatísticas foram realizadas, pois são resultados das médias de cada experimento.

Nas tabelas que contêm os resumos estatísticos estão distribuídos os resultados gerados a partir das variáveis independentes em questão, tipo e teor de

adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão, que configuram a análise do modelo geral para cada variável dependente, constituindo assim, uma regressão linear múltipla.

A fim de obter a influência individual de cada variável independente na variável dependente estudada, foi realizada uma regressão linear simples, primeiro com o concreto de referência e após os com adições minerais.

Para verificar a importância do tipo e, posteriormente, do teor de adição mineral sobre a variável dependente em estudo, foi utilizado a análise de regressão linear múltipla com três variáveis independentes: tipo ou teor, conforme um ou outro, relação água/aglomerante e resistência à compressão.

Foi analisado o coeficiente angular do modelo gerado pela regressão linear simples com a variável independente relação água/aglomerante e resistência à compressão das misturas com adições minerais e do concreto de referência, a fim de obter qual a variável independente que mais influencia na variável em estudo. A inclinação da reta determina a influência do eixo das abscissas (x ou variável independente) sobre o eixo das ordenadas (y ou variável dependente). Quanto maior, em módulo, for esse coeficiente angular, mais dependente uma será da outra. Na Figura 4.1 podemos visualizar o grau de dependência dos eixos x e y um em relação ao outro.

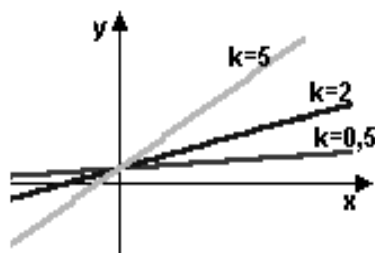


Figura 4.1 – Exemplo de coeficientes angulares de retas com diversas inclinações, demonstrando a dependência do eixo das ordenadas com o das abscissas.

Serão apresentados os resultados estatísticos para os cinco projetos de pesquisa que compõem esta dissertação, onde, para todas as variáveis dependentes, é mostrada a significância do modelo de regressão linear simples e múltipla com as variáveis independentes que a influenciam (tipo e teor de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão) e os coeficientes angulares.



As tabelas com a apresentação dos resultados estatísticos estão estruturadas conforme Tabela 4.1, sendo utilizada a nomenclatura proposta no item 3.2.1 para classificação dos coeficientes de determinação ( $rrr'$ ,  $rrr$ ,  $rr$  ou  $r$ ) e significância dos modelos ( $ppp$ ,  $pp$  e  $p$ ). Estas tabelas contêm:

- \* 1ª coluna: variáveis dependentes da durabilidade e microestrutura;
- \* 2ª coluna: classificação do coeficiente de determinação ( $r$ ) e nível de significância ( $p$ ) do modelo geral obtido pela análise de variância, por meio de regressão linear múltipla, considerando as quatro variáveis independentes: tipo e teor da adição mineral, relação água/aglomerante ( $a/ag$ ) e resistência à compressão ( $fc$ );
- \* 3ª a 6ª colunas:  $r$  e  $p$  para os modelos obtidos pela análise de variância por meio de regressão linear simples, considerando as variáveis independentes individualmente ( $i$ ): tipo, teor,  $a/ag$  e  $fc$ . Na terceira linha encontram-se os coeficientes angulares das retas da relação  $a/ag$  e  $fc$ ;
- \* 7ª e 8ª colunas:  $r$  e  $p$  para os modelos obtidos pela análise de variância por regressão linear simples para as variáveis independentes  $a/ag$  e  $fc$  do concreto de referência e, também, os respectivos coeficientes angulares das retas;
- \* 9ª coluna e posteriores (variáveis):  $r$  e  $p$  dos modelos obtidos por análise da variância por meio de regressão linear múltipla considerando as três variáveis independentes: teor de adição, relação  $a/ag$  e  $fc$ , para cada um dos tipos de adição mineral estudados no respectivo projeto;
- \* demais colunas (variáveis):  $r$  e  $p$  dos modelos obtidos por análise da variância por meio de regressão linear múltipla considerando as três variáveis independentes: tipo de adição, relação  $a/ag$  e  $fc$ , para cada um dos teores de adição mineral estudados no respectivo projeto.

Nas tabelas encontram-se grifados em negrito e itálico os coeficientes de determinação classificados como muito forte ( $rrr'$ , acima de 0,90), forte ( $rrr$ , entre 0,90 e 0,70) e, os níveis de significância igual ou superior a 0,95 ( $ppp$ ), com adoção da nomenclatura apresentada no final do Capítulo 3.

A Tabela 4.1 mostra como exemplo, os resultados das variáveis contidas no Projeto 1POZ. Os demais resultados encontram-se no Anexo A.

Tabela 4.1 – Resultados do Projeto 1POZ, após a análise estatística das misturas com e sem adições minerais.

| Variáveis          | Modelo Geral | Individual |          |            |            | Referência  |             | Tipo (m)    |             |             |             | Teor (m)    |             |             |
|--------------------|--------------|------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    |              | Typo (i)   | Teor (i) | a/ag       | fc         | a/ag        | fc          | CCA         | CV          | CCA-CV      | F           | 12,5%       | 25%         | 50%         |
| KCO <sub>2</sub>   | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>ppp | r<br>ppp   | rr<br>ppp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 46,09      | -0,39      | 55,10       | -0,47       |             |             |             |             |             |             |             |
| D H <sub>2</sub> O | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>p   | rrr<br>ppp | rrr<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 8,83       | -0,06      | 10,07       | -0,09       |             |             |             |             |             |             |             |
| P Cl-              | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>pp    | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 3454       | -46,10     | 3370        | -29,10      |             |             |             |             |             |             |             |
| T Cl-              | rrr<br>ppp   | r<br>ppp   | r<br>p   | rr<br>ppp  | rr<br>ppp  | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 1,41       | -0,011     | 1,75        | -0,02       |             |             |             |             |             |             |             |
| CH                 | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>ppp   | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 5,18       | -0,04      | 12,0        | -0,11       |             |             |             |             |             |             |             |
| AC                 | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rr<br>ppp   |
| C.A                |              |            |          | 7,39       | -0,012     | 8,0         | -0,07       |             |             |             |             |             |             |             |
| VTI                | rr<br>ppp    | r<br>p     | r<br>p   | rr<br>ppp  | rr<br>ppp  | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 5,63       | -0,04      | 3,87        | -0,034      |             |             |             |             |             |             |             |
| ATP                | r<br>pp      | r<br>p     | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rr<br>p     | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rr<br>p     | rr<br>p     | r<br>p      | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | 77482      | -391       | 90073       | -793        |             |             |             |             |             |             |             |
| DMP                | r<br>pp      | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | r<br>p      | r<br>p      | rr<br>p     | r<br>p      | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | r<br>p      | rr<br>ppp   | rr<br>p     |
| C.A                |              |            |          | 50,0       | -0,53      | 0,0         | 0,003       |             |             |             |             |             |             |             |
| PT                 | rr<br>ppp    | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 61,82      | -0,41      | 52,33       | -0,46       |             |             |             |             |             |             |             |
| DC                 | r<br>p       | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | 359        | -3,58      | 180,0       | -1,60       |             |             |             |             |             |             |             |
| d>50               | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>pp  | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 46,27      | -0,54      | 80,0        | -0,72       |             |             |             |             |             |             |             |
| 50>d>10            | r<br>ppp     | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>pp    | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | -25,06     | 0,33       | -87,0       | 0,79        |             |             |             |             |             |             |             |
| d<10               | r<br>p       | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>p     | r<br>pp    | r<br>p      | r<br>p      | rrr'<br>pp  | r<br>p      | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | r<br>p      | r<br>p      | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | -21,7      | 0,21       | 7,0         | -0,071      |             |             |             |             |             |             |             |

## Legenda

(i) - Regressão linear simples;  
(m) - Regressão linear múltipla;  
a/ag - Relação água/aglomerante;  
AC - Água combinada;  
ATP - Área total dos poros;  
C.A - Coeficiente angular;  
CCA - Cinza de casca de arroz;  
CH - Teor de hidróxido de cálcio;

CV - Cinza volante;  
d - diâmetro dos poros;  
D H<sub>2</sub>O - Difusão à água;  
DC - Diâmetro crítico;  
DMP - Diâmetro médio dos poros;  
F - Filler calcário;  
fc - Resistência à compressão;

KCO<sub>2</sub> - Coeficiente de carbonatação;  
p - Nível de significância;  
P Cl- - Penetração de cloretos;  
PT - Porosidade total;  
r - Coeficiente de determinação;  
T Cl- - Teor de cloretos;  
VTI - Volume total de intrusão de mercúrio;

### 4.3 Análise estatística das variáveis estudadas nos projetos

O principal propósito desse estudo não é detalhar estatisticamente cada projeto de pesquisa, mas avaliar em conjunto cada variável dependente da microestrutura e durabilidade, em relação as variáveis independentes teor e tipo de adição, resistência à compressão e relação água/aglomerante, que compõem os diversos projetos examinados. Com isso, objetiva-se ter uma visão global da influência das misturas com e sem a substituição do cimento por adições minerais, adição da cal hidratada, dos ativadores químicos e da finura das pozolanas. Por essa razão, será analisada a seguir cada uma das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, que compõem os diversos projetos avaliados.

#### 4.3.1 Variáveis dependentes da microestrutura

##### 4.3.1.1 Teor de água combinada (AC)

Na Tabela 4.2 é apresentado o modelo geral e a importância das variáveis independentes que a constituem. O modelo é significativo e as variáveis independentes mais influentes são a relação água/aglomerante e a resistência à compressão.

Tabela 4.2 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor de água combinada. Valores grifados apresentam significância forte.

| AC<br>Projetos   |           | Modelo<br>Geral     | Variáveis Independentes |      |             |             |
|------------------|-----------|---------------------|-------------------------|------|-------------|-------------|
|                  |           |                     | Tipo                    | Teor | a/ag        | fc          |
| P 1POZ           | Fcal<br>p | 7,43<br><b>0,00</b> | 0,40                    | 0,19 | <b>0,00</b> | <b>0,01</b> |
| Total<br>Projeto | 1         | 1                   | .                       | .    | 1           | 1           |

Os coeficientes de determinação do modelo geral e individual como tipo (i), teor (i), relação água/aglomerante e resistência à compressão das misturas com e sem adições minerais são apresentados na Figura 4.2. Na análise do modelo geral percebe-se que esses possuem um coeficiente de determinação médio ( $r^2 > 0,50$ ), o

que significa que a variação total dos dados pode ser explicada parcialmente por este modelo.

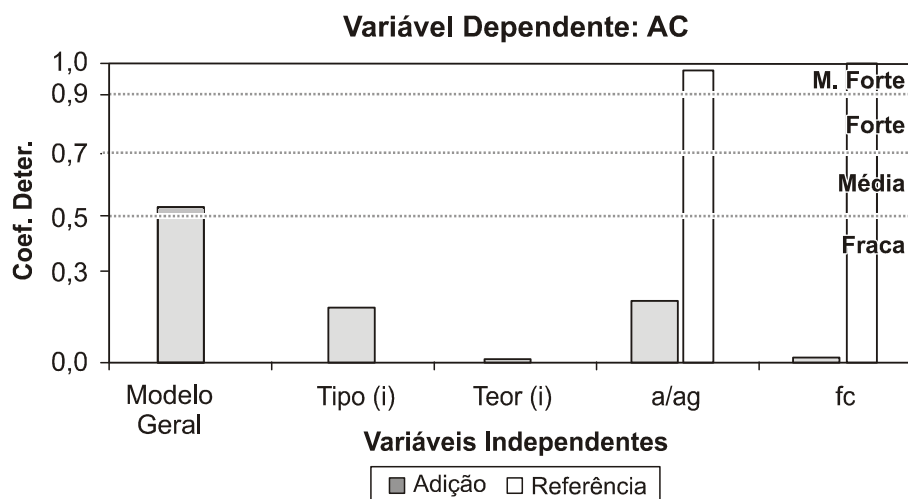


Figura 4.2 - Variação do coeficiente de determinação do modelo geral e individual para a variável dependente teor de água combinada.

Na Tabela 4.3 é apresentado os resultados das regressões lineares simples e múltiplas e a significância dos modelos, para as misturas com e sem adições minerais.

As análises individuais das variáveis independentes no modelo de regressão linear simples como o tipo (i) de adição e relação água/aglomerante apresentaram coeficiente de determinação fraco (Figura 4.2) e significância forte (Tabela 4.3). Desse modo, pode-se concluir, através do  $F_{cal}$ , que a variável independente a/ag é o mais significativo, apesar de possuir coeficiente de determinação fraco. O teor (i) de adição e a resistência à compressão possuem coeficiente de determinação e significância fraca, portanto, o modelo não é significativo e pouco representa a variação dos dados do projeto.

Considerando o coeficiente angular (Tabela 4.3) dos modelos gerados, pode-se observar que o teor de água combinada é mais dependente da relação água/aglomerante e resistência à compressão no concreto de referência do que nas misturas com adições minerais.

Esta mesma tabela mostra que o concreto de referência possui um coeficiente de determinação muito forte para a relação água/aglomerante e resistência à compressão, onde esta foi a variável independente de maior significância para a variável teor de água combinada. Os coeficientes de

determinação do concreto de referência apresentaram-se maiores, quando comparadas com as mesmas variáveis independentes das misturas com adições minerais (Figura 4.2).

Tabela 4.3 - Resumo da variável dependente teor de água combinada. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| AC Projetos   |                  | Modelo Geral | Individual  |          |             |       | Referência  |              |
|---------------|------------------|--------------|-------------|----------|-------------|-------|-------------|--------------|
|               |                  |              | Tipo (i)    | Teor (i) | a/ag        | fc    | a/ag        | fc           |
| P 1POZ        | F <sub>cal</sub> | 7,43         | 6,67        | 0,17     | <b>7,91</b> | 0,34  | 48,00       | 550,1        |
|               | p                | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b> | 0,68     | <b>0,01</b> | 0,56  | 0,09        | <b>0,03</b>  |
|               | r <sup>2</sup>   | 0,52         | 0,18        | 0,01     | 0,20        | 0,01  | <b>0,98</b> | <b>1,00</b>  |
|               | C.A.             |              |             |          | 7,39        | -0,01 | <b>8,00</b> | <b>-0,07</b> |
| Total Projeto | p                | 1            | 1           | .        | 1           | .     | .           | 1            |
|               | r <sup>2</sup>   | .            | .           | .        | .           | .     | 1           | 1            |
|               | C.A.             | .            | .           | .        | .           | .     | 1           | 1            |

| AC Projetos   |                  | Tipo (m)    |             |             |              | Teor (m) |              |             |
|---------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------|--------------|-------------|
|               |                  | CCA         | CV          | F           | CCA-CV       | 12,5%    | 25%          | 50%         |
| P 1POZ        | F <sub>cal</sub> | 21,12       | 10,46       | 18,78       | <b>22,32</b> | 2,30     | <b>12,63</b> | 4,29        |
|               | p                | <b>0,00</b> | <b>0,01</b> | <b>0,00</b> | <b>0,04</b>  | 0,19     | <b>0,00</b>  | <b>0,04</b> |
|               | r <sup>2</sup>   | <b>0,93</b> | <b>0,86</b> | <b>0,92</b> | <b>0,97</b>  | 0,58     | <b>0,83</b>  | 0,62        |
|               | C.A.             |             |             |             |              |          |              |             |
| Total Projeto | p                | 1           | 1           | 1           | 1            | .        | 1            | 1           |
|               | r <sup>2</sup>   | 1           | 1           | 1           | 1            | .        | 1            | .           |

Quando analisado na Tabela 4.3 o modelo para tipo (m) de adição obteve-se um coeficiente de determinação forte e muito forte e significância forte para todas as misturas binárias e ternárias, onde com a análise do  $F_{cal}$  pode-se afirmar que a mistura com CCA-CV é a mais significativa. Os teores que apresentaram significância foram 25 e 50% de adição. Fazendo uma análise global desses resultados, pode-se dizer que as misturas ternárias com CCA-CV ao teor de 25% são as que apresentam melhores resultados de significância e coeficiente de determinação.

Os resultados da análise estatística mostram que, no modelo geral, as variáveis independentes que mais preponderaram foram as relações a/ag e resistência à compressão. Nos modelos de regressão linear, as variáveis independentes individuais mais importantes foram à relação a/ag e o tipo de adição mineral. Observa-se, a tendência de melhor variação dos resultados de misturas binárias sobre a água combinada, assim como incremento de seu teor com o

aumento da quantidade de adição na mistura. Com efeito, a água combinada depende da disponibilidade de espaço para a formação dos compostos hidratados e, também, quanto maior o teor de adições minerais, mais elevado é o efeito de defloculação dos grãos de cimento e, logo, da formação de C-S-H.

#### 4.3.1.2 Teor de hidróxido de cálcio remanescente (CH)

O resumo dos resultados do modelo geral e a significância das variáveis independentes obtidas na análise de variância para a variável CH são apresentadas na Tabela 4.4.

O modelo geral apresentado mostra que, para os 5 projetos que foram analisados, todos eles apresentaram significância forte, enquanto que, as variáveis independentes mais preponderantes foram na seguinte ordem: teor, tipo, resistência à compressão e relação a/ag.

Tabela 4.4 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente. Valores grifados apresentam significância forte.

| CH<br>Projetos    |                  | Modelo<br>Geral                     | Variáveis Independentes |             |             |             |   |
|-------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
|                   |                  |                                     | Tipo                    | Teor        | a/ag        | fc          |   |
| P 1POZ            |                  | Fcal<br>p<br>37,85<br><b>0,00</b>   | 0,06                    | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |   |
| P 2CAL            | Com e<br>Sem Cal | Fcal<br>p<br>48,16<br><b>0,00</b>   | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |   |
|                   | Com Cal          | Fcal<br>p<br>7.252<br><b>0,00</b>   | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,08        | 0,21        |   |
|                   | Sem Cal          | Fcal<br>p<br>175.259<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,10        | 0,30        |   |
| P 5CAR            |                  | Fcal<br>p<br>23,91<br><b>0,00</b>   | 0,80                    | <b>0,00</b> | 0,87        | <b>0,00</b> |   |
| Total<br>Projetos |                  | 5                                   | 5                       | 3           | 5           | 2           | 3 |

Esse tipo de análise demonstrou que os resultados obtidos através da regressão linear múltipla são significativos, o coeficiente de determinação apresenta-se forte e muito forte e significância forte, significando que o modelo geral explica a variação total dos dados e as variáveis independentes escolhidas são adequadas

para esse tipo de análise. A Figura 4.3 mostra, para todos os projetos, a variação do coeficiente de determinação do modelo geral.

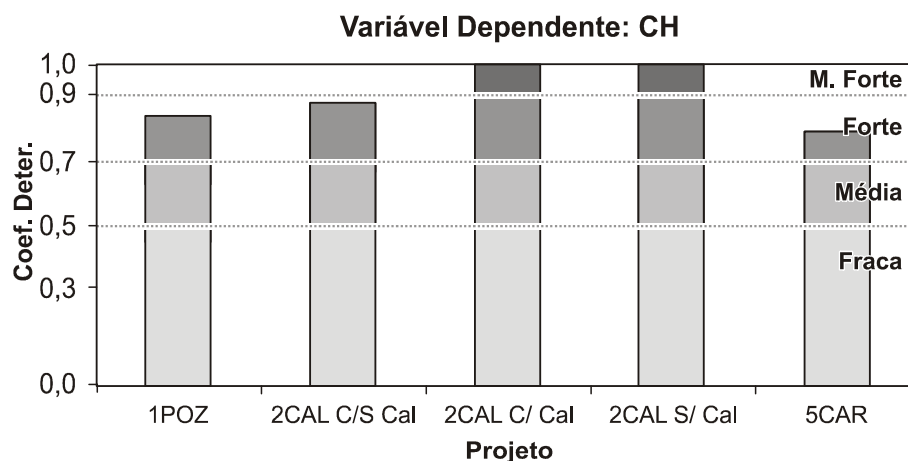


Figura 4.3 - Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente.

A Tabela 4.5 apresenta a análise de variância, os coeficientes de determinação e angulares das misturas com e sem adições minerais, onde foi realizado um estudo individual das variáveis independentes que interagem com a variável dependente teor hidróxido de cálcio remanescente.

A ANOVA ressaltou os efeitos individuais das variáveis independentes analisadas, a relação água/aglomerante e a resistência à compressão apresentaram significância fraca ( $p > 0,10$ ), sendo assim, os modelos não são significativos. Nos Projetos 1POZ e 5CAR, o teor (i) de adição possui significância forte, demonstrando que este, tanto na análise individual como no modelo geral, é a variável independente de maior influência para essa variável dependente. O tipo (i) de adição encontra-se em segundo plano em ambas as análises.

Analisando o concreto de referência, observou-se fraca significância para quase todas as relações água/aglomerante e resistência à compressão.

Contemplando o coeficiente angular dos modelos, observa-se que o teor de hidróxido de cálcio remanescente é mais dependente da relação água/aglomerante no concreto de referência em todos os projetos (5), e a resistência à compressão, com adições minerais em (3), no Projeto 2CAL e, no concreto de referência (2), no 1POZ e 5CAR.

O coeficiente de determinação e significância para as variáveis independentes tipo (m) e teor (m) de adição são apresentadas nas Tabelas 4.6 e

4.7, as quais se apresentaram forte e muito forte para grande maioria das misturas. As misturas ternárias com CCA-CV apresentam-se significativa em 3 misturas, CV, em 2 e CCA e F, em 1.

Tabela 4.5 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| CH Projetos    |                | Modelo Geral   | Individual  |              |       |       | Referência   |              |             |
|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|-------------|
|                |                |                | Tipo (i)    | Teor (i)     | a/ag  | fc    | a/ag         | fc           |             |
| P 1POZ         | Fcal           | 37,85          | 7,62        | <b>24,59</b> | 0,93  | 1,62  | 8,03         | 16,92        |             |
|                | p              | <b>0,00</b>    | <b>0,01</b> | <b>0,00</b>  | 0,34  | 0,21  | 0,22         | 0,15         |             |
|                | r <sup>2</sup> | <b>0,84</b>    | 0,20        | 0,44         | 0,03  | 0,05  | <b>0,89</b>  | <b>0,94</b>  |             |
|                | C.A.           |                |             |              | 46,09 | -0,39 | <b>55,10</b> | <b>-0,47</b> |             |
| P 2CAL         | Com e Sem Cal  | Fcal           | 48,16       | 0,00         | 3,27  | 0,00  | 2,83         | 44,86        | 3,99        |
|                |                | p              | <b>0,00</b> | 0,99         | 0,08  | 0,97  | 0,10         | 0,09         | 0,30        |
|                |                | r <sup>2</sup> | <b>0,89</b> | 0,00         | 0,10  | 0,00  | 0,09         | <b>0,98</b>  | <b>0,80</b> |
|                |                | C.A.           |             |              |       | 4,84  | <b>0,97</b>  | <b>27,65</b> | -0,18       |
|                | Com Cal        | Fcal           | 7252        | 0,00         | 1,47  | 0,00  | 0,86         | 44,86        | 3,99        |
|                |                | p              | <b>0,00</b> | 0,98         | 0,25  | 0,96  | 0,37         | 0,09         | 0,30        |
|                |                | r <sup>2</sup> | <b>1,00</b> | 0,00         | 0,10  | 0,00  | 0,06         | <b>0,98</b>  | <b>0,80</b> |
|                |                | C.A.           |             |              |       | 8,34  | <b>0,81</b>  | <b>27,65</b> | -0,18       |
|                | Sem Cal        | Fcal           | 175259      | 0,00         | 1,56  | 0,00  | 2,12         | 44,86        | 3,99        |
|                |                | p              | <b>0,00</b> | 1,00         | 0,23  | 0,99  | 0,17         | 0,09         | 0,30        |
|                |                | r <sup>2</sup> | <b>1,00</b> | 0,00         | 0,11  | 0,00  | 0,14         | <b>0,98</b>  | <b>0,80</b> |
|                |                | C.A.           |             |              |       | 1,35  | <b>1,25</b>  | <b>27,65</b> | -0,18       |
| P 5CAR         | Fcal           | 23,91          | 2,01        | <b>44,82</b> | 2,24  | 1,26  | 8,98         | 5,48         |             |
|                | p              | <b>0,00</b>    | 0,17        | <b>0,00</b>  | 0,15  | 0,27  | 0,21         | 0,26         |             |
|                | r <sup>2</sup> | <b>0,79</b>    | 0,07        | 0,62         | 0,07  | 0,04  | <b>0,90</b>  | <b>0,85</b>  |             |
|                | C.A.           |                |             |              | 4,90  | -0,02 | <b>5,45</b>  | <b>-0,04</b> |             |
| Total Projetos | p              | 5              | 1           | 2            | .     | .     | .            | .            |             |
|                | r <sup>2</sup> | 5              | .           | .            | .     | .     | 5            | 5            |             |
|                | C.A.           | .              | .           | .            | .     | 3     | 5            | 2            |             |

Na Tabela 4.7 percebe-se que o teor de adição significativo, apresentado, foi 50%, em todas as 5 misturas, 70% em 3, 25% em 2, e 12,5% em 1.

Através da análise do modelo para tipo (m) e teor (m) de adição, que está apresentada nas Tabelas 4.6 e 4.7, verifica-se que as misturas binárias com CCA e CV no teor de 50% e as ternárias CCA-CV no teor de 70% são de maior significância para o teor de hidróxido de cálcio, com relação ao valor do  $F_{cal}$ .



Tabela 4.6 - Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| CH<br>Projetos |                | Tipo (m)       |             |              |             |   |      |             |              |             |
|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|---|------|-------------|--------------|-------------|
|                |                | CCA            | CV          | SA           | F           | E | CV-E | CCA-CV      | CV-SA        |             |
| P 1POZ         | Fcal           | <b>113,12</b>  | 82,24       | .            | 57,94       | . | .    | 31,44       | .            |             |
|                | p              | <b>0,00</b>    | <b>0,00</b> | .            | <b>0,00</b> | . | .    | <b>0,03</b> | .            |             |
|                | r <sup>2</sup> | <b>0,99</b>    | <b>0,98</b> | .            | <b>0,97</b> | . | .    | <b>0,98</b> | .            |             |
| P 2CAL         | Com e          | Fcal           | .           | 2,54         | .           | . | 1,45 | 4,95        | <b>27,26</b> | .           |
|                |                | p              | .           | 0,23         | .           | . | 0,36 | 0,11        | <b>0,01</b>  | .           |
|                | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | .           | 0,63         | .           | . | 0,49 | <b>0,77</b> | <b>0,95</b>  | .           |
|                |                | Fcal           | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                | Com Cal        | p              | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                | Sem Cal        | Fcal           | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                |                | p              | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | .           | . | .    | .           | .            | .           |
|                |                | Fcal           | 15,47       | <b>139,3</b> | 12,93       | . | .    | .           | 86,25        | 10,88       |
|                | P 5CAR         | p              | 0,06        | <b>0,01</b>  | 0,07        | . | .    | .           | <b>0,01</b>  | 0,09        |
|                |                | r <sup>2</sup> | <b>0,96</b> | <b>1,00</b>  | <b>0,95</b> | . | .    | .           | <b>0,99</b>  | <b>0,94</b> |
| p              |                | 1              | 2           | .            | 1           | . | .    | 3           | .            |             |
| Total Projetos | r <sup>2</sup> | 2              | 2           | 1            | 1           | . | 1    | 3           | 1            |             |

Tabela 4.7 - Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| CH<br>Projetos    |                | Teor (m)       |             |              |               |                  |             |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|--------------|---------------|------------------|-------------|
|                   |                | 12,5%          | 25%         | 50%          | 70%           | 90%              |             |
| P 1POZ            | Fcal           | 13,06          | 4,96        | <b>39,23</b> | .             | .                |             |
|                   | p              | <b>0,01</b>    | <b>0,03</b> | <b>0,00</b>  | .             | .                |             |
|                   | r <sup>2</sup> | <b>0,89</b>    | 0,65        | <b>0,94</b>  | .             | .                |             |
| P 2CAL            | Com e          | Fcal           | .           | .            | 32,31         | <b>35,22</b>     | 2,22        |
|                   |                | p              | .           | .            | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>      | 0,33        |
|                   | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>0,92</b>   | <b>0,93</b>      | <b>0,77</b> |
|                   |                | Fcal           | .           | .            | <b>36.886</b> | 7.142            | .           |
|                   | Com Cal        | p              | .           | .            | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>      | .           |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>      | .           |
|                   | Sem Cal        | Fcal           | .           | .            | 974.204       | <b>1.749.509</b> | .           |
|                   |                | p              | .           | .            | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>      | .           |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>      | .           |
|                   |                | Fcal           | .           | 5,07         | <b>8,58</b>   | .                | .           |
|                   | P 5CAR         | p              | .           | <b>0,03</b>  | <b>0,01</b>   | .                | .           |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | 0,66         | <b>0,76</b>   | .                | .           |
| p                 |                | 1              | 2           | 5            | 3             | .                |             |
| Total<br>Projetos | r <sup>2</sup> | 1              | .           | 5            | 3             | 1                |             |

Na Figura 4.4 observa-se os coeficientes de determinação para o tipo (i) e teor (i) de adição mineral, relação água/aglomerante e resistência à compressão para a variável teor de hidróxido de cálcio.

Os coeficientes de determinação mostrados na Figura 4.4 (a e b) apontam que o tipo (i) e teor (i) de adição são fracos ( $r^2 < 0,50$ ), exceto no Projeto 5CAR que o teor (i) de adição foi médio.

Para a relação água/aglomerante e resistência à compressão o coeficiente de determinação é forte e muito forte para as misturas sem adições (referência) sendo que, para as misturas com adição, são fracas, conforme demonstrado na Figura 4.4 (c e d).

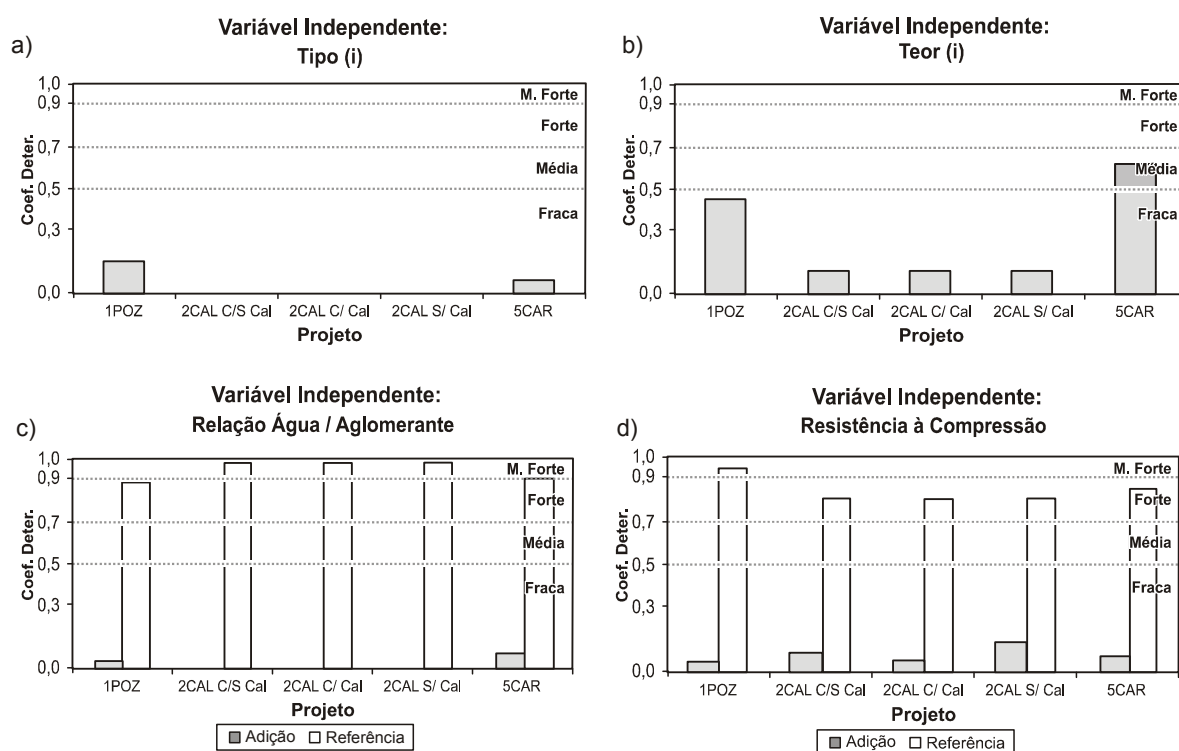


Figura 4.4 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente teor de hidróxido de cálcio remanescente.

A análise estatística da variação do teor de hidróxido de cálcio remanescente em relação as variáveis independentes escolhidas evidencia que, para o modelo geral, o teor, o tipo e resistência à compressão foram as mais preponderantes. Com efeito, o teor de CH depende da quantidade de adição mineral na mistura, pois quanto maior o seu teor, mais quantidade de cal será consumida para formação de

C-S-H secundário. Também, quanto mais reativa é a pozolana, maior é a quantidade de CH consumida e, quanto mais elevada a resistência, menor o teor de vazios e menor é o espaço disponível para a sua formação.

Os resultados estatísticos mostram que, segundo a Tabela 4.6, existem evidências de preponderância das misturas mais reativas como a CCA, assim como das misturas ternárias no maior consumo de CH. A Tabela 4.7 também mostra que o aumento do teor de adição também incrementa a significância do consumo de CH em relação as variáveis independentes teor, relação a/ag e fc. Esses resultados estão de acordo com o relato de Isaia (1995) sobre o maior consumo de hidróxido de cálcio em misturas com adições minerais mais reativas e em teores mais elevados.

#### 4.3.1.3 Variáveis do ensaio de porosimetria

A análise de variância dos modelos gerais e a significância das variáveis independentes para as variáveis do ensaio de porosimetria encontram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria. Valores grifados apresentam significância forte.

| Porosimetria<br>P 1POZ |           | Modelo<br>Geral      | Variáveis Independentes |             |             |             |
|------------------------|-----------|----------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                        |           |                      | Tipo                    | Teor        | a/ag        | fc          |
| VTI                    | Fcal<br>p | 15,30<br><b>0,00</b> | 0,35                    | 0,39        | 0,21        | 0,09        |
| ATP                    | Fcal<br>p | 2,49<br>0,07         | 0,54                    | 0,42        | 0,14        | 0,70        |
| DMP                    | Fcal<br>p | 2,25<br>0,09         | 0,30                    | 0,92        | 0,83        | 0,34        |
| PT                     | Fcal<br>p | 9,93<br><b>0,00</b>  | 0,18                    | 0,21        | 0,20        | 0,30        |
| DC                     | Fcal<br>p | 2,00<br>0,12         | 0,31                    | 0,96        | 0,93        | 0,41        |
| d>50nm                 | Fcal<br>p | 12,40<br><b>0,00</b> | 0,08                    | <b>0,00</b> | <b>0,02</b> | <b>0,00</b> |
| 50>d>10nm              | Fcal<br>p | 5,63<br><b>0,00</b>  | 0,32                    | <b>0,00</b> | 0,07        | <b>0,01</b> |
| d<10nm                 | Fcal<br>p | 1,88<br>0,14         | 0,36                    | 0,24        | 0,65        | 0,28        |
| Total<br>Porosimetria  | 8         | 4                    | .                       | 2           | 1           | 2           |

Com essa análise de variância, os modelos gerais obtidos através da regressão linear múltipla são significativos, para as variáveis dependentes, em ordenação decrescente de  $F_{cal}$ , volume total de intrusão de mercúrio (VTI),  $d > 50\text{nm}$ , porosidade total (PT) e diâmetro dos poros  $50 > d > 10\text{nm}$ . As demais variáveis dependentes possuem significância que varia de fraca à média.

Assim, as variáveis independentes analisadas nos modelos gerais, não são significativas para o nível de confiança de 95%, apenas as variáveis diâmetro dos poros ( $d > 50\text{nm}$ ) e ( $50 > d > 10\text{nm}$ ) apresentaram significância, sendo o teor de adição e a resistência à compressão os mais significativos, em 2 análises, seguido pela relação água/aglomerante, em 1.

Na Figura 4.5, nota-se a variação do coeficiente de determinação para o Projeto 1POZ das variáveis dependentes do ensaio da porosimetria. Para as variáveis dependentes VTI, PT e  $d > 50\text{nm}$  os coeficientes de determinação são médios ( $0,70 > r^2 > 0,50$ ), demonstrando que o modelo de regressão linear representa em parte a variação dos dados, enquanto para as demais variáveis esses são fracos ( $r^2 < 0,50$ ).

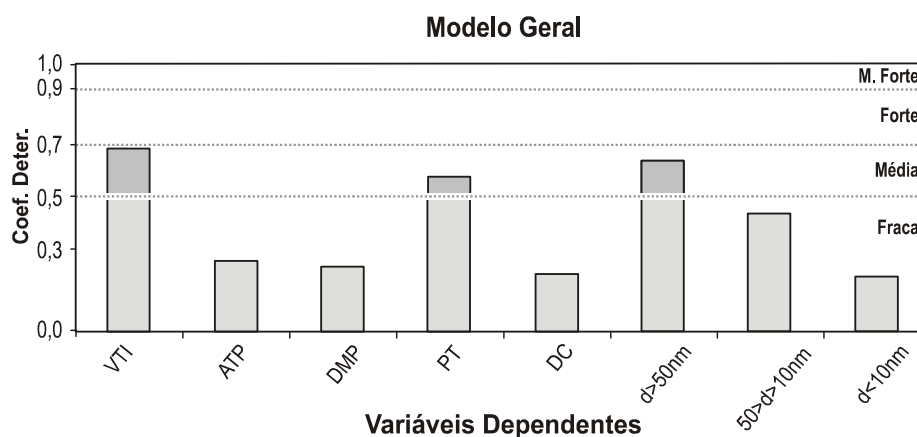


Figura 4.5 - Variação do coeficiente de determinação dos modelos gerais para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria.

Os níveis de significância para as variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples estão dispostos na Tabela 4.9 e a variação dos coeficientes de determinação para o tipo (i) e teor (i) de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão nas misturas com e sem adições minerais estão na Figura 4.6.

Tabela 4.9 - Resumo do modelo geral e individual para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| Porosimetria<br>P 1POZ |                | Modelo<br>Geral | Individual   |          |               |              | Referência    |              |
|------------------------|----------------|-----------------|--------------|----------|---------------|--------------|---------------|--------------|
|                        |                |                 | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag          | fc           | a/ag          | fc           |
| VTI                    | Fcal           | 15,30           | 2,45         | 0,05     | 42,34         | <b>51,97</b> | 115,64        | 26,05        |
|                        | p              | <b>0,00</b>     | 0,13         | 0,83     | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>  | 0,06          | 0,12         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,69            | 0,07         | 0,00     | 0,58          | 0,63         | <b>0,99</b>   | <b>0,96</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | <b>5,63</b>   | <b>-0,04</b> | 3,87          | -0,03        |
| ATP                    | Fcal           | 2,49            | 0,94         | 0,39     | <b>8,49</b>   | 4,25         | 38031         | 88,56        |
|                        | p              | 0,07            | 0,34         | 0,54     | <b>0,01</b>   | <b>0,05</b>  | <b>0,00</b>   | 0,07         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,26            | 0,03         | 0,01     | 0,21          | 0,12         | <b>1,00</b>   | <b>0,99</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | 77482         | -391,0       | <b>90073</b>  | <b>-793</b>  |
| DMP                    | Fcal           | 2,25            | 4,23         | 0,81     | 2,57          | <b>7,14</b>  | 0,00          | 0,01         |
|                        | p              | 0,09            | <b>0,05</b>  | 0,37     | 0,12          | <b>0,01</b>  | 1,00          | 0,94         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,24            | 0,12         | 0,03     | 0,08          | 0,19         | 0,00          | 0,01         |
|                        | C.A.           |                 |              |          | <b>50,00</b>  | <b>-0,53</b> | 0,00          | 0,00         |
| PT                     | Fcal           | 9,93            | 3,14         | 0,23     | <b>27,30</b>  | 26,76        | 437,6         | 355,8        |
|                        | p              | <b>0,00</b>     | 0,09         | 0,63     | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>  | <b>0,03</b>   | <b>0,03</b>  |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,59            | 0,09         | 0,01     | 0,47          | 0,46         | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | <b>61,82</b>  | -0,41        | 52,33         | <b>-0,46</b> |
| DC                     | Fcal           | 2,00            | 3,78         | 0,54     | 2,71          | <b>6,57</b>  | 136,69        | 4210         |
|                        | p              | 0,12            | 0,06         | 0,47     | 0,11          | <b>0,02</b>  | <b>0,05</b>   | <b>0,01</b>  |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,22            | 0,11         | 0,02     | 0,08          | 0,17         | <b>0,99</b>   | <b>1,00</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | <b>359,0</b>  | <b>-3,58</b> | 180,0         | -1,60        |
| d>50nm                 | Fcal           | 12,40           | <b>13,97</b> | 2,59     | 2,23          | 7,75         | 21,33         | 78,38        |
|                        | p              | <b>0,00</b>     | <b>0,00</b>  | 0,12     | 0,15          | <b>0,01</b>  | 0,14          | 0,07         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,64            | 0,31         | 0,08     | 0,07          | 0,20         | <b>0,96</b>   | <b>0,99</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | 46,27         | -0,54        | <b>80,00</b>  | <b>-0,72</b> |
| 50>d>10nm              | Fcal           | 5,63            | <b>7,74</b>  | 2,38     | 0,87          | 3,66         | 9,46          | 21,24        |
|                        | p              | <b>0,00</b>     | <b>0,01</b>  | 0,13     | 0,36          | 0,07         | 0,20          | 0,14         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,45            | 0,20         | 0,07     | 0,03          | 0,11         | <b>0,90</b>   | <b>0,96</b>  |
|                        | C.A.           |                 |              |          | -25,06        | 0,33         | <b>-87,00</b> | <b>0,79</b>  |
| d<10nm                 | Fcal           | 1,88            | 3,91         | 0,30     | 1,71          | 3,70         | 0,41          | 0,62         |
|                        | p              | 0,14            | 0,06         | 0,59     | 0,20          | 0,06         | 0,64          | 0,57         |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,21            | 0,11         | 0,01     | 0,05          | 0,11         | 0,29          | 0,38         |
|                        | C.A.           |                 |              |          | <b>-21,67</b> | <b>0,21</b>  | 7,00          | -0,07        |
| Total                  | p              | 4               | 3            | .        | 3             | 6            | 3             | 2            |
|                        | r <sup>2</sup> | .               | .            | .        | .             | .            | 6             | 6            |
| Porosimetria           | C.A.           | .               | .            | .        | 5             | 4            | 3             | 4            |

Através da análise individual da influência das variáveis independentes para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria, percebe-se que a resistência à

compressão foi a mais significativa, pois predominou em 6 análises, enquanto o tipo (i) de adição e a relação água/aglomerante, em 3.

Por meio da regressão linear simples das variáveis independentes, que compõe o concreto de referência, foi observado um coeficiente de determinação muito forte e significância fraca para a maioria das variáveis do projeto em questão, a relação água/aglomerante apresentou-se com significância em 3 análises e a resistência à compressão em 2.

Avaliando o coeficiente angular (Tabela 4.9) dos modelos, observa-se que as variáveis dependentes da porosimetria são mais dependentes da relação água/aglomerante nas misturas com adições minerais, nas variáveis VTI, DMP, PT, DC e  $d < 10\text{nm}$ , pois as que possuem maior dependência com a resistência à compressão nas misturas com adições minerais são VTI, DMP, DC e  $d < 10\text{nm}$ . As demais variáveis dependentes apresentam-se no concreto de referência com essas mesmas variáveis independentes.

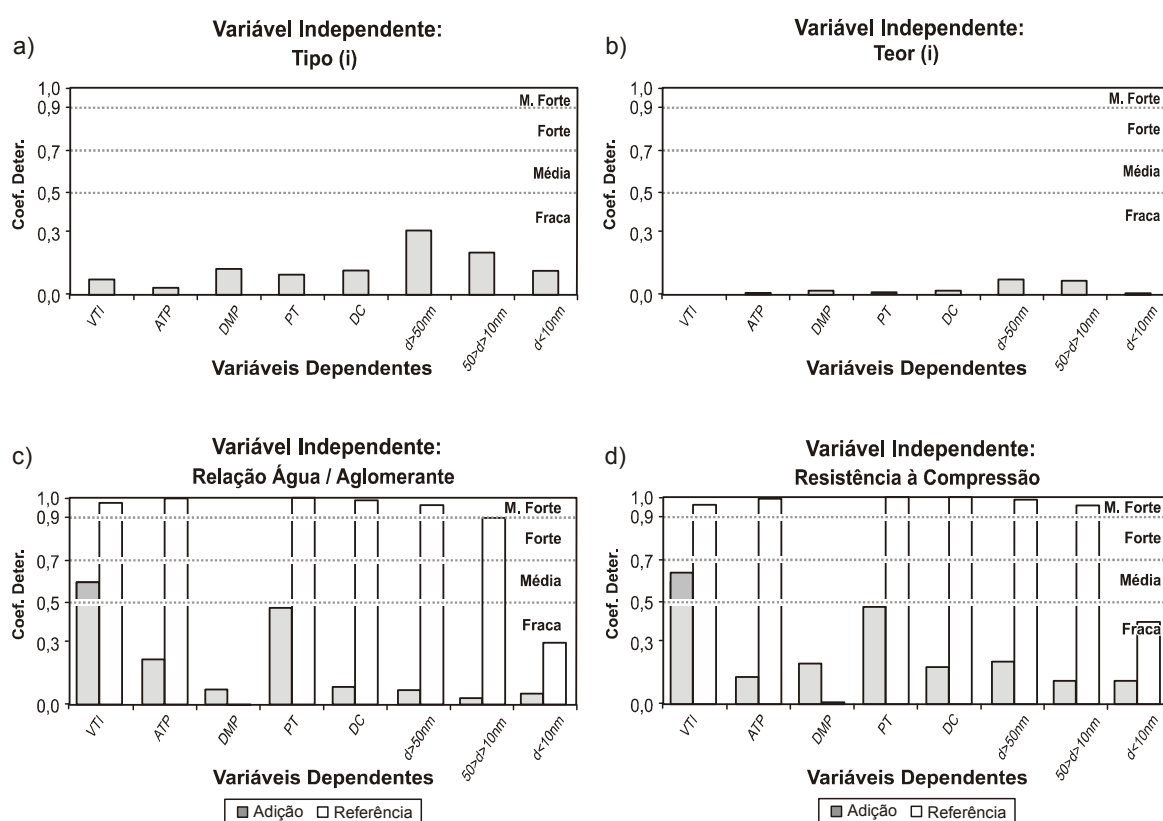


Figura 4.6 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria.

Para as variáveis independentes tipo (i) e teor (i) de adição, os coeficientes de determinação apresentaram-se fracos, de acordo com a Figura 4.6 (a e b).

Os coeficientes de determinação na Figura 4.6 (c e d) demonstram que as misturas sem adições (referência) possuem um coeficiente maior do que os com adições.

A Tabela 4.10 apresenta a análise de variância e regressão linear múltipla das variáveis independentes tipo e teor de adição para as variáveis dependentes do ensaio da porosimetria.

Tabela 4.10 - Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| Porosimetria<br>P 1POZ |                | Tipo (m)     |              |              |               | Teor (m)    |              |             |
|------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|                        |                | CCA          | CV           | F            | CCA-CV        | 12,5%       | 25%          | 50%         |
| VTI                    | Fcal           | <b>23,54</b> | 16,25        | 3,47         | <b>127,59</b> | 5,95        | <b>63,64</b> | 12,15       |
|                        | p              | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b>  | 0,11         | <b>0,01</b>   | <b>0,04</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b> |
|                        | r <sup>2</sup> | <b>0,93</b>  | <b>0,91</b>  | 0,68         | <b>0,99</b>   | <b>0,78</b> | <b>0,96</b>  | <b>0,82</b> |
| ATP                    | Fcal           | 2,11         | 4,84         | 1,70         | 3,37          | 3,18        | 1,22         | 1,79        |
|                        | p              | 0,22         | 0,06         | 0,28         | 0,24          | 0,12        | 0,36         | 0,23        |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,56         | <b>0,74</b>  | 0,50         | <b>0,83</b>   | 0,66        | 0,31         | 0,40        |
| DMP                    | Fcal           | 3,11         | 0,37         | <b>9,93</b>  | 1,07          | 0,96        | <b>5,63</b>  | 2,14        |
|                        | p              | 0,13         | 0,78         | <b>0,02</b>  | 0,52          | 0,48        | <b>0,02</b>  | 0,17        |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,65         | 0,18         | <b>0,86</b>  | 0,62          | 0,36        | 0,68         | 0,45        |
| PT                     | Fcal           | <b>8,87</b>  | 3,03         | 3,44         | <b>708,63</b> | 4,49        | <b>40,27</b> | 9,06        |
|                        | p              | <b>0,02</b>  | 0,13         | 0,11         | <b>0,00</b>   | 0,07        | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b> |
|                        | r <sup>2</sup> | <b>0,84</b>  | 0,65         | 0,67         | <b>1,00</b>   | <b>0,73</b> | <b>0,94</b>  | <b>0,77</b> |
| DC                     | Fcal           | 2,95         | <b>12,19</b> | 9,32         | 3,47          | <b>8,17</b> | 6,94         | 1,75        |
|                        | p              | 0,14         | <b>0,01</b>  | <b>0,02</b>  | 0,23          | <b>0,02</b> | <b>0,01</b>  | 0,23        |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,64         | <b>0,88</b>  | <b>0,85</b>  | <b>0,84</b>   | <b>0,83</b> | <b>0,72</b>  | 0,40        |
| d>50nm                 | Fcal           | 2,25         | 7,93         | <b>23,12</b> | 1,41          | 2,68        | <b>17,51</b> | 7,06        |
|                        | p              | 0,20         | <b>0,02</b>  | <b>0,00</b>  | 0,44          | 0,16        | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b> |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,57         | <b>0,83</b>  | <b>0,93</b>  | 0,68          | 0,62        | <b>0,87</b>  | <b>0,73</b> |
| 50>d>10nm              | Fcal           | 2,65         | <b>23,23</b> | 7,95         | 1,68          | 3,44        | <b>5,09</b>  | 2,14        |
|                        | p              | 0,16         | <b>0,00</b>  | <b>0,02</b>  | 0,39          | 0,11        | <b>0,03</b>  | 0,17        |
|                        | r <sup>2</sup> | 0,61         | <b>0,93</b>  | <b>0,83</b>  | <b>0,72</b>   | 0,67        | 0,66         | 0,45        |
| d<10nm                 | Fcal           | 4,40         | 1,08         | <b>16,74</b> | 2,58          | 0,90        | 1,77         | 1,43        |
|                        | p              | 0,07         | 0,44         | <b>0,00</b>  | 0,29          | 0,50        | 0,23         | 0,30        |
|                        | r <sup>2</sup> | <b>0,73</b>  | 0,39         | <b>0,91</b>  | <b>0,79</b>   | 0,35        | 0,40         | 0,35        |
| Total                  | p              | 2            | 4            | 5            | 2             | 2           | 6            | 3           |
| Porosimetria           | r <sup>2</sup> | 3            | 5            | 5            | 6             | 3           | 4            | 3           |

Através da regressão linear múltipla, notou-se a significância das misturas com adição de filler calcáreo (F), pois este se sobressaiu em 5 análises, CV em 4, e CCA e CCA-CV em 2. O teor (m) de adição com maior significância foi 25% (6), seguido de 50% (3) e 12,5% (2).

A predominância do  $F_{cal}$  indica que a significância do tipo de adição apresenta-se na mistura com F em 3 análises, CV, CCA e CCA-CV em 2.

Os resultados estatísticos evidenciam que o teor de adição mineral e resistência à compressão são as variáveis independentes mais influentes sobre as variáveis dependentes ligadas com a porosimetria, enquanto, para os modelos individuais por regressão linear simples, foi a resistência à compressão, seguido da relação a/ag e tipo de adição. Os valores indicados na Tabela 4.10 mostram que as misturas ternárias foram as que apresentaram os maiores valores para  $F_{cal}$ , mostrando que essas influem em maior grau que as binárias, pois apresentaram valores de  $F_{cal}$  mais baixos. O teor de adição que propiciou maior influência nas variáveis dependentes da porosimetria foi 25%.

#### 4.3.2 Variáveis dependentes da durabilidade

##### 4.3.2.1 Coeficiente de carbonatação ( $KCO_2$ )

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos na análise de variância dos modelos geral e individual, onde foram encontrados a significância e o coeficiente de determinação das variáveis independentes que compuseram a variável dependente coeficiente de carbonatação.

O modelo geral representado na Tabela 4.11 é significativo para o nível de confiança de 95%, para todos os projetos, inclusive nos estudos com ou sem cal hidratada ou ativadores químicos. A variável independente de maior significância para todos os modelos estudados em relação à carbonatação foi o teor de adição em 7 análises, seguido da relação água/aglomerante em 4, tipo de adição em 3 e, por último, a resistência à compressão em 2.

Apesar do modelo geral para o Projeto 2CAL (nas misturas 'com' adição da cal) ser significativo, as variáveis independentes que as compõem não possuem significância. No entanto, essas variáveis independentes foram mantidas para poder realizar a comparação entre todas as variáveis dependentes pesquisadas.



Pode-se verificar na Figura 4.7 a variação dos coeficientes de determinação para o modelo geral de regressão linear múltipla nos projetos. Para o Projeto 2CAL 'com' cal, o coeficiente de determinação é médio ( $70 > r^2 > 0,50$ ), enquanto que para os demais o  $r^2$  variou de forte a muito forte, significando que os modelos representam a variação dos dados.

Tabela 4.11 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente coeficiente de carbonatação. Valores grifados apresentam significância forte.

| KCO <sub>2</sub> Projetos |                | Modelo Geral         | Variáveis Independentes |             |             |                     |   |
|---------------------------|----------------|----------------------|-------------------------|-------------|-------------|---------------------|---|
|                           |                |                      | Tipo                    | Teor        | a/ag        | fc                  |   |
| P 1POZ                    | Fcal<br>p      | 25,40<br><b>0,00</b> | 0,46                    | <b>0,00</b> | 0,18        | 0,08                |   |
| P 2CAL                    | Com e Sem Cal  | Fcal<br>p            | 16,69<br><b>0,00</b>    | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | 0,90<br><b>0,00</b> |   |
|                           | Com Cal        | Fcal<br>p            | 5,60<br><b>0,01</b>     | 0,40        | 0,58        | 0,37<br>0,72        |   |
|                           | Sem Cal        | Fcal<br>p            | 10,04<br><b>0,00</b>    | <b>0,01</b> | <b>0,01</b> | 0,70<br><b>0,04</b> |   |
| P 3ATI                    | Com e Sem Ati. | Fcal<br>p            | 68,81<br><b>0,00</b>    | <b>0,02</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b><br>0,24 |   |
|                           | Com Ati.       | Fcal<br>p            | 31,73<br><b>0,00</b>    | 0,11        | <b>0,01</b> | <b>0,00</b><br>0,67 |   |
|                           | Sem Ati.       | Fcal<br>p            | 150,72<br><b>0,00</b>   | 0,06        | <b>0,00</b> | <b>0,00</b><br>0,12 |   |
| P 5CAR                    | Fcal<br>p      | 30,01<br><b>0,00</b> | 0,47                    | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | 0,95                |   |
| Total Projetos            |                | 8                    | 8                       | 3           | 7           | 4                   | 2 |

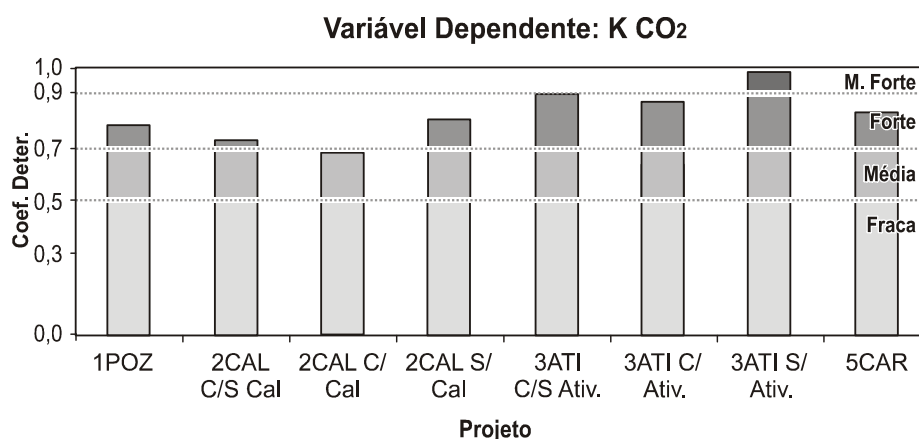


Figura 4.7 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral da variável dependente coeficiente de carbonatação.

Nos Projetos 2CAL e 3ATI, quando se usa a cal hidratada e ativadores químicos, percebe-se, entre as que possuem essas adições, resultados mais dispersos, justificando a significância e o coeficiente de determinação e de  $F_{cal}$  inferiores, de acordo com a Tabela 4.11 e a Figura 4.7.

A Tabela 4.12 resume os níveis de significância para as variáveis independentes envolvidas e a variação dos coeficientes de determinação para o tipo (i) e teor (i) de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão nas misturas com e sem adições minerais.

Na análise individual, através da regressão linear simples dos 8 projetos e/ou subprojetos, pode-se observar que o tipo (i) de adição não apresentou significância em nenhum deles, o teor (i) na metade, e a relação a/ag e resistência à compressão em todos. Os valores de  $F_{cal}$  em negrito destacam as variáveis independentes mais influentes: a resistência à compressão em 4 análises, a relação a/ag em 3 e o teor em uma. Para todos os casos as significâncias das variáveis independentes foram fortes (abaixo de 0,05).

Quando analisada a influência do tipo (m) e teor (m) de adições na Tabela 4.13, percebe-se que, para a grande maioria das misturas, os modelos são significativos. As misturas binárias com CCA (3), CV (2) e E (2) e as ternárias com CCA-CV (2), E-CCA (1) e CV-E (1) e nos teores de 70 (6), 50 (5), 20 (3) e 25% (2), são, nessa ordem, os que apresentaram maior significância em relação as demais.

Observando o valor do  $F_{cal}$  pode-se concluir que as misturas com CCA no teor de 20 e 50%, CV a 20%, CV-E a 70% e CCA-CV a 25% são as que apresentaram melhores resultados em relação às outras misturas.

Ao verificar o modelo para tipo (m) e teor (m) de adição, percebe-se um coeficiente de determinação forte e muito forte e significância forte, ficando evidente quando notado separadamente, temos somente a influência de cada uma das variáveis independentes. Entretanto, analisando através da regressão linear múltipla, isoladamente, tipo (m) e teor (m) obteve-se um comportamento diferente do que foi examinado através da regressão linear simples, tipo (i) e teor (i), pois as respostas evidenciam que, levando-se em consideração a influência isolada de cada uma, os modelos tornam-se significativos e bem correlacionados com os dados de cada projeto.

A Figura 4.8 mostra que os coeficientes de determinação dos modelos lineares simples foram fracos para as análises do tipo (i) e teor (i) (Fig. 4.8 a e b) e

encontra-se forte em 2 para a relação a/ag e em 3 para a resistência à compressão (Fig. 4.8 c e d). Embora, para essas duas últimas variáveis independentes, os níveis de significância para as misturas com adições minerais foram fortes, revelando a aparente incongruência entre os valores de  $r^2$  e p, conforme comentado acima.

Tabela 4.12 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente coeficiente de carbonatação. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| KCO <sub>2</sub><br>Projetos |                   | Modelo<br>Geral | Individual  |              |              |              | Referência   |              |              |
|------------------------------|-------------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                              |                   |                 | Tipo (i)    | Teor (i)     | a/ag         | fc           | a/ag         | fc           |              |
| P 1POZ                       | Fcal              | 25,40           | 1,70        | 12,02        | 24,17        | <b>65,52</b> | 9,34         | 5,10         |              |
|                              | p                 | <b>0,00</b>     | 0,20        | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,20         | 0,27         |              |
|                              | r <sup>2</sup>    | <b>0,78</b>     | 0,05        | 0,28         | 0,44         | 0,68         | <b>0,90</b>  | <b>0,84</b>  |              |
|                              | C.A.              |                 |             |              | 46,09        | -0,39        | <b>55,10</b> | <b>-0,47</b> |              |
| P 2CAL                       | Com e<br>Sem Cal  | Fcal            | 16,69       | 2,09         | 0,38         | 19,03        | <b>26,40</b> | 34,60        | 3,61         |
|                              |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,16         | 0,54         | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,11         | 0,31         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,73</b> | 0,07         | 0,01         | <b>0,40</b>  | <b>0,49</b>  | <b>0,97</b>  | <b>0,78</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | <b>34,14</b> | <b>-0,19</b> | 17,15        | -0,11        |
|                              | Com Cal           | Fcal            | 5,60        | 0,56         | 0,37         | <b>23,04</b> | 16,84        | 34,60        | 3,61         |
|                              |                   | p               | <b>0,01</b> | 0,47         | 0,55         | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,11         | 0,31         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | 0,69        | 0,04         | 0,03         | 0,64         | 0,56         | <b>0,97</b>  | <b>0,78</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | <b>24,46</b> | <b>-0,12</b> | 17,15        | -0,11        |
|                              | Sem Cal           | Fcal            | 10,04       | 0,68         | 0,21         | <b>17,11</b> | 12,19        | 34,60        | 3,61         |
|                              |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,42         | 0,65         | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,11         | 0,31         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,80</b> | 0,05         | 0,02         | 0,57         | 0,48         | <b>0,97</b>  | <b>0,78</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | <b>43,82</b> | <b>-0,22</b> | 17,15        | -0,11        |
| P 3Ati                       | Com e<br>Sem Ati. | Fcal            | 68,81       | 0,76         | 6,65         | 82,66        | <b>130,9</b> | 28,48        | 24,76        |
|                              |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,39         | <b>0,01</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,12         | 0,13         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,90</b> | 0,02         | 0,16         | <b>0,71</b>  | <b>0,79</b>  | <b>0,97</b>  | <b>0,96</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | 41,31        | -0,32        | <b>53,03</b> | <b>-0,36</b> |
|                              | Com Ati.          | Fcal            | 31,73       | 0,68         | 5,60         | 38,40        | <b>86,04</b> | 28,48        | 24,76        |
|                              |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,42         | <b>0,03</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,12         | 0,13         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,87</b> | 0,03         | 0,20         | 0,64         | <b>0,80</b>  | <b>0,97</b>  | <b>0,96</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | 39,80        | -0,32        | <b>53,03</b> | <b>-0,36</b> |
|                              | Sem Ati.          | Fcal            | 150,7       | 0,05         | 1,06         | <b>75,55</b> | 57,34        | 28,48        | 24,76        |
|                              |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,83         | 0,33         | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,12         | 0,13         |
|                              |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,99</b> | 0,00         | 0,10         | <b>0,88</b>  | <b>0,85</b>  | <b>0,97</b>  | <b>0,96</b>  |
|                              |                   | C.A.            |             |              |              | 44,34        | -0,33        | <b>53,03</b> | <b>-0,36</b> |
| P 5CAR                       | Fcal              | 30,01           | 2,10        | <b>32,73</b> | 11,14        | 10,57        | 3,49         | 5,30         |              |
|                              | p                 | <b>0,00</b>     | 0,16        | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,31         | 0,26         |              |
|                              | r <sup>2</sup>    | <b>0,83</b>     | 0,07        | 0,54         | 0,28         | 0,27         | <b>0,78</b>  | <b>0,84</b>  |              |
|                              | C.A.              |                 |             |              | <b>82,96</b> | <b>-0,40</b> | 26,20        | -0,18        |              |
| Total Projetos               | p                 | 8               | .           | 4            | 8            | 8            | .            | .            |              |
|                              | r <sup>2</sup>    | 7               | .           | .            | 2            | 3            | 8            | 8            |              |
|                              | C.A.              | .               | .           | .            | 4            | 4            | 4            | 4            |              |

Tabela 4.13 - Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente coeficiente de carbonatação. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação muito forte e forte.

| KCO2<br>Projetos |                | Tipo (m)       |              |              |             |   |             |              |              |             | Teor (m)    |              |              |              |              |             |
|------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------|---|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|                  |                | CCA            | CV           | SA           | F           | E | CV-E        | E-CCA        | CCA-CV       | CV-SA       | 12,5%       | 20%          | 25%          | 50%          | 70%          | 90%         |
| P 1POZ           | Fcal           | <b>16,95</b>   | 10,15        | .            | 8,63        | . | .           | .            | 10,08        | .           | 13,69       | .            | 9,80         | <b>17,82</b> | .            | .           |
|                  | p              | <b>0,00</b>    | <b>0,01</b>  | .            | <b>0,02</b> | . | .           | .            | 0,09         | .           | <b>0,01</b> | .            | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | .            | .           |
|                  | r <sup>2</sup> | <b>0,91</b>    | <b>0,86</b>  | .            | <b>0,84</b> | . | .           | .            | <b>0,94</b>  | .           | <b>0,89</b> | .            | <b>0,79</b>  | <b>0,87</b>  | .            | .           |
| P 2CAL           | Com e          | Fcal           | 6,40         | 6,14         | .           | . | 2,48        | <b>19,79</b> | .            | 14,36       | .           | .            | .            | 11,30        | <b>17,21</b> | 9,77        |
|                  |                | p              | 0,08         | 0,09         | .           | . | 0,23        | <b>0,02</b>  | .            | <b>0,03</b> | .           | .            | .            | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,09        |
|                  | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | <b>0,81</b>  | <b>0,80</b>  | .           | . | 0,62        | <b>0,93</b>  | .            | <b>0,91</b> | .           | .            | .            | <b>0,81</b>  | <b>0,87</b>  | <b>0,94</b> |
|                  |                | Fcal           | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | .            | 34,76        | <b>75,76</b> | .           |
|                  | Com Cal        | p              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | .            | <b>0,03</b>  | <b>0,01</b>  | .           |
|                  |                | r <sup>2</sup> | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | .            | <b>0,98</b>  | <b>0,99</b>  | .           |
| Sem Cal          | Fcal           | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | 23,05        | <b>47,10</b> | .            |             |
|                  | p              | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | <b>0,04</b>  | <b>0,02</b>  | .            |             |
|                  | r <sup>2</sup> | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | .            | <b>0,97</b>  | <b>0,99</b>  | .            |             |
| P 3Ati           | Com e          | Fcal           | 39,93        | <b>144,3</b> | .           | . | 32,62       | .            | 13,23        | .           | .           | .            | <b>53,43</b> | .            | 25,37        | .           |
|                  |                | p              | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | .           | . | <b>0,00</b> | .            | <b>0,01</b>  | .           | .           | .            | <b>0,00</b>  | .            | <b>0,00</b>  | .           |
|                  | Sem Ati.       | r <sup>2</sup> | <b>0,90</b>  | <b>0,99</b>  | .           | . | <b>0,92</b> | .            | <b>0,82</b>  | .           | .           | .            | <b>0,92</b>  | .            | <b>0,84</b>  | .           |
|                  |                | Fcal           | <b>18,18</b> | .            | .           | . | 11,19       | .            | 5,86         | .           | .           | .            | <b>20,29</b> | .            | 13,90        | .           |
|                  | Com Ati.       | p              | <b>0,00</b>  | .            | .           | . | <b>0,04</b> | .            | 0,09         | .           | .           | .            | <b>0,00</b>  | .            | <b>0,00</b>  | .           |
|                  |                | r <sup>2</sup> | <b>0,86</b>  | .            | .           | . | <b>0,88</b> | .            | <b>0,80</b>  | .           | .           | .            | <b>0,88</b>  | .            | <b>0,84</b>  | .           |
| Sem Ati.         | Fcal           | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | <b>381,8</b> | .            | 31,21        | .            |             |
|                  | p              | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | <b>0,00</b>  | .            | <b>0,03</b>  | .            |             |
|                  | r <sup>2</sup> | .              | .            | .            | .           | . | .           | .            | .            | .           | .           | <b>1,00</b>  | .            | <b>0,98</b>  | .            |             |
| P 5CAR           | Fcal           | 10,79          | 4,60         | 1,97         | .           | . | .           | .            | <b>500,6</b> | 6,57        | .           | .            | <b>23,87</b> | 9,47         | .            | .           |
|                  | p              | 0,09           | 0,18         | 0,35         | .           | . | .           | .            | <b>0,00</b>  | 0,13        | .           | .            | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b>  | .            | .           |
|                  | r <sup>2</sup> | <b>0,94</b>    | <b>0,87</b>  | <b>0,75</b>  | .           | . | .           | .            | <b>1,00</b>  | <b>0,91</b> | .           | .            | <b>0,90</b>  | <b>0,78</b>  | .            | .           |
| Total            | p              | 3              | 2            | .            | 1           | 2 | 1           | 1            | 2            | .           | 1           | 3            | 2            | 5            | 6            | .           |
| Projetos         | r <sup>2</sup> | 5              | 4            | 1            | 1           | 2 | 1           | 2            | 3            | 1           | 1           | 3            | 2            | 5            | 6            | 1           |

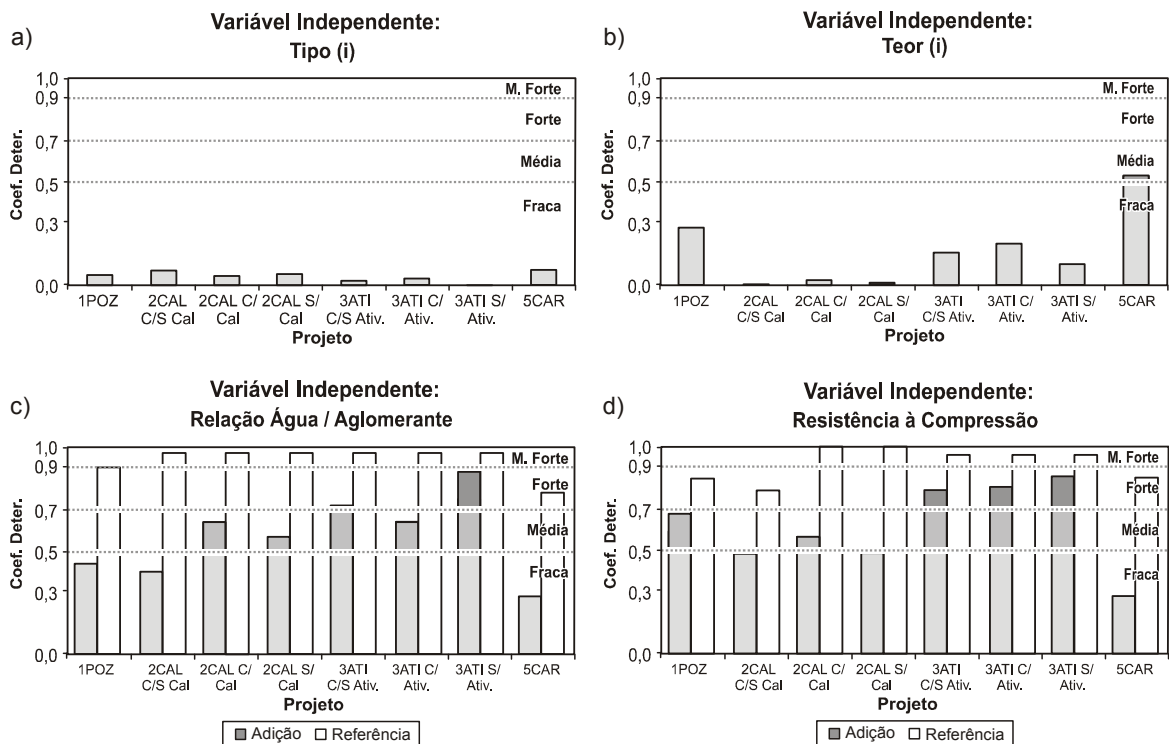


Figura 4.8 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente coeficiente de carbonatação.

Para as misturas do concreto de referência, estudando as variáveis independentes  $a/ag$  e resistência à compressão, foi observado o coeficiente de determinação que é mais elevado em comparação às misturas com adições, sendo, praticamente, todos classificados como forte e muito forte, conforme mostra a Figura 4.8 (c e d). Em contrapartida, o nível de significância em todas as 8 análises foi fraco, quando comparado com as respectivas relações água/aglomerante e resistência à compressão das misturas com adições minerais. Não há evidências de predominância da relação  $a/ag$  e resistência à compressão comparada entre o concreto de referência e com adições minerais, pois os coeficientes angulares dessas duas variáveis independentes foram mais elevados em 4 análises, para esses dois tipos de concreto.

Individualmente os resultados indicam que a relação  $a/ag$  e a resistência à compressão são as variáveis independentes que mais influem sobre a carbonatação e, em menor grau, o teor e tipo de adição mineral. O coeficiente de carbonatação das misturas, contendo adições minerais, mostrou maior dependência da relação água/aglomerante e resistência à compressão nos Projetos 2CAL e 5CAR, enquanto

que nos Projetos 1POZ e 3ATI os concretos sem adições (referência) revelaram influência maior daquelas duas variáveis independentes.

A partir da análise da Tabela 4.11, observou-se que o modelo geral que relaciona o comportamento do coeficiente de carbonatação com a variação das 4 variáveis independentes analisadas apresentou maior significância na seguinte ordem decrescente, em termos de número de análises: teor (7), relação a/ag (4), tipo (3) e resistência à compressão (2). Essa constatação está de acordo com a teoria, porque, à medida que aumenta o teor de adição na mistura, decresce a quantidade de cimento e a quantidade de hidróxido de cálcio disponível para a carbonatação, aumentando, portanto, a velocidade.

Mostrou também, através do modelo geral, que a influência da relação a/ag sobre a carbonatação foi menor do que a do teor de adição, enquanto que o tipo da adição apresentou influência maior do que a resistência. Entretanto, as regressões lineares individuais revelaram que as relações a/ag e resistência à compressão são mais significativas que o teor, enquanto que o tipo não revelou nenhuma significância.

Essa aparente contradição mostra a necessidade de realizar análise de variância através de regressão múltipla, entre as variáveis independentes que afetam uma dada variável dependente da durabilidade, visto que a análise individual pode se mostrar significativa, como o da resistência no caso da carbonatação (Tabela 4.12), e pouco significativa em conjunto (Tabela 4.11).

#### 4.3.2.2 Difusão à água ( $D_{H_2O}$ )

A análise do modelo geral, composto pelas variáveis independentes, encontra-se na Tabela 4.14, onde a a/ag e o modelo apresentam-se significativos.

Tabela 4.14 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente difusão à água. Valores grifados apresentam significância forte.

| D H <sub>2</sub> O<br>Projetos |           | Modelo<br>Geral      | Variáveis Independentes |      |             |      |
|--------------------------------|-----------|----------------------|-------------------------|------|-------------|------|
|                                |           |                      | Tipo                    | Teor | a/ag        | fc   |
| P 1POZ                         | Fcal<br>p | 48,26<br><b>0,00</b> | 0,14                    | 0,64 | <b>0,00</b> | 0,23 |
| Total<br>Projeto               | 1         | 1                    | .                       | .    | 1           | .    |

Os coeficientes de determinação para o modelo geral e as análises individuais das variáveis independentes e analisadas através da regressão linear simples, encontram-se na Figura 4.9, onde também se observa a variação do coeficiente de determinação do tipo (i) e teor (i) de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão das misturas com e sem adições minerais.

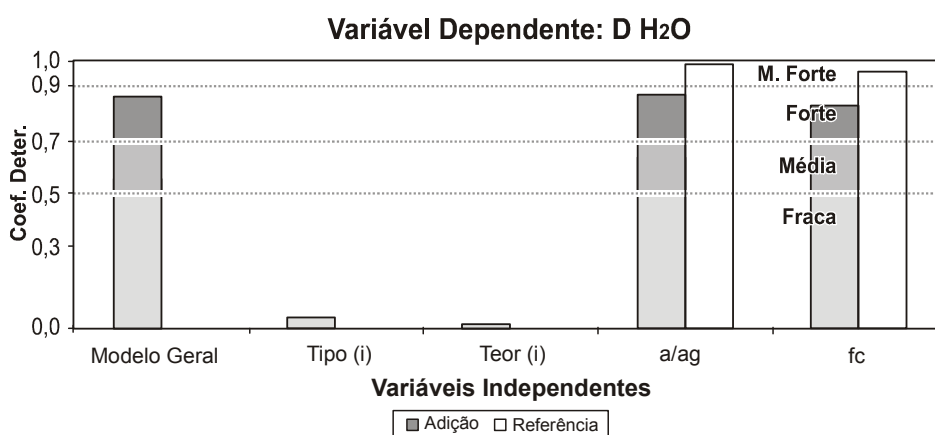


Figura 4.9 – Variação do coeficiente de determinação para o modelo geral e das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente difusão à água.

Na análise individual pode-se observar que o coeficiente de determinação é fraco para o tipo (i) e teor (i) de adição ( $r^2 < 0,50$ ), portanto o modelo pouco representa essa variação de dados. Para a relação água/aglomerante e a resistência à compressão, o concreto de referência possui um coeficiente de determinação superior às misturas com adições minerais.

Verificou-se, individualmente, a significância das variáveis independentes na Tabela 4.15, que a relação água/aglomerante e a resistência à compressão possuem maior significância para a variável dependente difusão à água.

Nota-se também, que tanto para a análise de significância do modelo geral como para os modelos individuais com adições minerais, a relação água/aglomerante prevalece como a variável independente de maior importância, pois o valor do  $F_{cal}$  dessa variável independente prevalece ao da resistência à compressão.

Tabela 4.15 - Resumo da variável dependente difusão à água. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| D H <sub>2</sub> O Projeto |                  | Modelo Geral | Individual |          |               |             | Referência   |              |
|----------------------------|------------------|--------------|------------|----------|---------------|-------------|--------------|--------------|
|                            |                  |              | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag          | fc          | a/ag         | fc           |
| P 1POZ                     | F <sub>cal</sub> | 48,26        | 1,24       | 0,39     | <b>139,04</b> | 99,44       | 118,76       | 26,39        |
|                            | p                | <b>0,00</b>  | 0,27       | 0,54     | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b> | 0,06         | 0,12         |
|                            | r <sup>2</sup>   | <b>0,87</b>  | 0,04       | 0,01     | <b>0,82</b>   | <b>0,76</b> | <b>0,99</b>  | <b>0,96</b>  |
|                            | C.A.             |              |            |          | 8,83          | -0,06       | <b>10,07</b> | <b>-0,09</b> |
| Total                      | p                | 1            | .          | .        | 1             | 1           | .            | .            |
|                            | r <sup>2</sup>   | 1            | .          | .        | 1             | 1           | 1            | 1            |
| Projetos                   | C.A.             | .            | .          | .        | .             | .           | 1            | 1            |

| D H <sub>2</sub> O Projeto |                  | Tipo (m)    |             |               |             | Teor (m)      |             |             |
|----------------------------|------------------|-------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
|                            |                  | CCA         | CV          | F             | CCA-CV      | 12,5%         | 25%         | 50%         |
| P 1POZ                     | F <sub>cal</sub> | 64,71       | 118,08      | <b>118,68</b> | 72,30       | <b>162,22</b> | 110,22      | 23,20       |
|                            | p                | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>   | <b>0,01</b> | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
|                            | r <sup>2</sup>   | <b>0,97</b> | <b>0,99</b> | <b>0,99</b>   | <b>0,99</b> | <b>0,99</b>   | <b>0,98</b> | <b>0,90</b> |
| Total                      | p                | 1           | 1           | 1             | 1           | 1             | 1           | 1           |
| Projetos                   | r <sup>2</sup>   | 1           | 1           | 1             | 1           | 1             | 1           | 1           |

Observou-se para o concreto de referência, fraca (para a resistência à compressão) e média (para a relação água/aglomerante) significância para essa variável dependente.

Quando obtido o modelo de regressão linear múltipla para o tipo (m) e teor (m) de adição, percebe-se um coeficiente de determinação muito forte e forte significância para todas as misturas, ficando evidente que, quando se analisa individualmente o tipo e teor, temos somente a influência de cada um na variável que se estuda. A adição de maior significância frente à difusão à água é a mistura binária com F (filler calcáreo) no teor de 12,5%, pois o valor do  $F_{cal}$  determinou essa predominância.

Avaliando o coeficiente angular das retas do modelo linear gerado, pode-se chegar à conclusão que a difusão à água é mais dependente da relação água/aglomerante e resistência à compressão nas misturas sem as adições minerais.

O resultado da análise estatística mostra que a relação água/aglomerante é a variável independente que apresentou significância forte tanto no modelo geral como individual, evidenciando que os mecanismos de difusão de água são



dependentes dos poros em contato com o exterior e a sua interconexão para possibilitar o fluxo de água através da camada de cobertura. A resistência à compressão foi a segunda variável independente mais importante nos dois modelos, tendo em vista, a inter-relação que existe entre essas variáveis por meio da lei de Abrams.

#### 4.3.2.3 Absorção capilar (A H<sub>2</sub>O)

São apresentados na Tabela 4.16 os resultados estatísticos entre o modelo geral e a significância das variáveis independentes que as compõem.

Os modelos gerais de regressão linear múltipla apresentam-se fortemente significativos em 5 das 6 análises realizadas, enquanto que o Projeto 2CAL (nas misturas 'com' cal) não apresentou significância. O teor foi a variável independente que se mostrou com significância em 3 análises, enquanto que as demais em 2.

Tabela 4.16 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente absorção capilar. Valores grifados apresentam significância forte.

| A H <sub>2</sub> O<br>Projetos |                   |           | Modelo<br>Geral      | Variáveis Independentes |             |             |             |
|--------------------------------|-------------------|-----------|----------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                |                   |           |                      | Tipo                    | Teor        | a/ag        | fc          |
| P 2CAL                         | Com e<br>Sem Cal  | Fcal<br>p | 8,96<br><b>0,00</b>  | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,45        | <b>0,00</b> |
|                                | Com Cal           | Fcal<br>p | 2,22<br>0,14         | 0,75                    | 0,82        | 0,19        | 0,52        |
|                                | Sem Cal           | Fcal<br>p | 4,88<br><b>0,02</b>  | <b>0,04</b>             | <b>0,05</b> | 0,48        | <b>0,03</b> |
| P 3ATI                         | Com e<br>Sem Ati. | Fcal<br>p | 22,51<br><b>0,00</b> | 0,51                    | <b>0,03</b> | <b>0,01</b> | 0,16        |
|                                | Com Ati.          | Fcal<br>p | 9,70<br><b>0,00</b>  | 0,46                    | 0,13        | 0,21        | 0,31        |
|                                | Sem Ati.          | Fcal<br>p | 27,34<br><b>0,00</b> | 0,79                    | 0,13        | <b>0,01</b> | 0,64        |
| Total<br>Projetos              |                   | 6         | 5                    | 2                       | 3           | 2           | 2           |

As variações dos coeficientes de determinação dos modelos gerais dos Projetos 2CAL e 3ATI são apresentadas na Figura 4.10.

A Figura 4.10 mostra que os maiores coeficientes de determinação foram encontrados nas misturas 'sem' qualquer tipo de ativador, ou seja, cal hidratada ou

químico, pois outras misturas apresentaram a seguinte ordem de 'com e sem' e, posteriormente 'com', porque possuem uma maior dispersão de seus resultados brutos. O Projeto 3ATI 'sem' e 'com e sem' ativadores apresentaram coeficiente de determinação forte e muito forte, o 2CAL 'com' cal fraca e as demais 3 misturas, média.

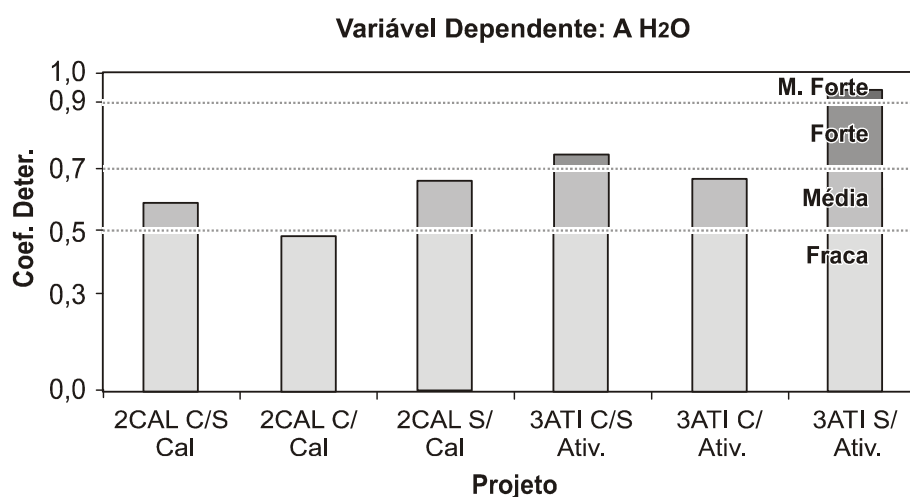


Figura 4.10 - Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente absorção capilar.

Na Tabela 4.17 são apresentadas os efeitos individuais das variáveis independentes que foram analisadas através da ANOVA e as regressões lineares simples sobre a variável dependente em estudo, encontram-se na Figura 4.11.

Estudando os efeitos individuais do tipo (i) e teor (i) de adição com a variável dependente absorção capilar, através dos modelos de regressão linear simples, esses se apresentaram com coeficiente de determinação e significância fraca para todos os projetos em estudo ( $r^2 < 0,50$  e  $p > 0,10$ ).

Através do valor do  $F_{cal}$  a relação água/aglomerante (em 4 análises) nos Projetos 2CAL (nas misturas 'com' cal) e 3ATI e, a resistência à compressão (em 2) no Projeto 2CAL (nas misturas 'com e sem' e 'sem' cal) nota-se uma maior influência na absorção capilar, sendo que para todos os casos as significâncias foram fortes.

Avaliando os coeficientes angulares dos modelos percebe-se que a absorção capilar é mais dependente da relação água/aglomerante e da resistência à compressão nas misturas com adições minerais no Projeto 2CAL, e no Projeto 3ATI, a maior dependência se encontra nas misturas do concreto de referência.

Tabela 4.17 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente absorção capilar. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| A H <sub>2</sub> O |                | Modelo         | Individual  |          |             |               | Referência    |               |               |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|----------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Projetos           |                |                | Geral       | Tipo (i) | Teor (i)    | a/ag          | fc            | a/ag          | fc            |
| P 2CAL             | Com e Sem Cal  | Fcal           | 8,96        | 3,26     | 1,10        | 8,81          | <b>18,76</b>  | 339,32        | 6,63          |
|                    |                | p              | <b>0,00</b> | 0,08     | 0,30        | <b>0,01</b>   | <b>0,00</b>   | <b>0,03</b>   | 0,24          |
|                    |                | r <sup>2</sup> | 0,59        | 0,10     | 0,04        | 0,24          | 0,40          | <b>1,00</b>   | <b>0,87</b>   |
|                    |                | C.A.           |             |          |             | <b>7870</b>   | <b>-52,67</b> | 1691          | -11,41        |
|                    | Com Cal        | Fcal           | 2,22        | 0,81     | 0,56        | <b>8,04</b>   | 5,88          | 339,32        | 6,63          |
|                    |                | p              | 0,14        | 0,38     | 0,47        | <b>0,01</b>   | <b>0,03</b>   | <b>0,03</b>   | 0,24          |
|                    |                | r <sup>2</sup> | 0,47        | 0,06     | 0,04        | 0,38          | 0,31          | <b>1,00</b>   | <b>0,87</b>   |
|                    |                | C.A.           |             |          |             | <b>5748</b>   | <b>-27,43</b> | 1691          | -11,41        |
|                    | Sem Cal        | Fcal           | 4,88        | 1,42     | 0,88        | 6,47          | <b>10,94</b>  | 339,32        | 6,63          |
| p                  |                | <b>0,02</b>    | 0,26        | 0,37     | <b>0,02</b> | <b>0,01</b>   | <b>0,03</b>   | 0,24          |               |
| r <sup>2</sup>     |                | 0,66           | 0,10        | 0,06     | 0,33        | 0,46          | <b>1,00</b>   | <b>0,87</b>   |               |
| C.A.               |                |                |             |          | <b>9992</b> | <b>-63,35</b> | 1691          | -11,41        |               |
| P 3ATI             | Com e Sem Ati. | Fcal           | 22,51       | 0,07     | 0,91        | <b>78,90</b>  | 28,10         | 25,92         | 22,67         |
|                    |                | p              | <b>0,00</b> | 0,80     | 0,35        | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>   | 0,12          | 0,13          |
|                    |                | r <sup>2</sup> | <b>0,74</b> | 0,00     | 0,03        | <b>0,70</b>   | 0,45          | <b>0,96</b>   | <b>0,96</b>   |
|                    |                | C.A.           |             |          |             | 5087          | -29,76        | <b>13137</b>  | <b>-88,93</b> |
|                    | Com Ati.       | Fcal           | 9,70        | 0,04     | 0,62        | <b>36,44</b>  | 12,26         | 25,92         | 22,67         |
|                    |                | p              | <b>0,00</b> | 0,84     | 0,44        | <b>0,00</b>   | <b>0,00</b>   | 0,12          | 0,13          |
|                    |                | r <sup>2</sup> | 0,67        | 0,00     | 0,03        | 0,62          | 0,36          | <b>0,96</b>   | <b>0,96</b>   |
|                    |                | C.A.           |             |          |             | 4188          | -22,9         | <b>13137</b>  | <b>-88,93</b> |
|                    | Sem Ati.       | Fcal           | 27,34       | 0,00     | 0,28        | <b>101,52</b> | 17,73         | 25,92         | 22,67         |
| p                  |                | <b>0,00</b>    | 0,98        | 0,61     | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>   | 0,12          | 0,13          |               |
| r <sup>2</sup>     |                | <b>0,94</b>    | 0,00        | 0,03     | <b>0,91</b> | 0,64          | <b>0,96</b>   | <b>0,96</b>   |               |
| C.A.               |                |                |             |          | 6887        | -43,30        | <b>13137</b>  | <b>-88,93</b> |               |
| Total Projetos     | p              | 5              | .           | .        | 6           | 6             | 3             | .             |               |
|                    | r <sup>2</sup> | 2              | .           | .        | 2           | .             | 6             | 6             |               |
|                    | C.A.           | .              | .           | .        | 3           | 3             | 3             | 3             |               |

Os coeficientes de determinação do tipo (i) e teor (i) de adição mostram-se fracos (Figura 4.11 a e b). No concreto de referência, as variáveis independentes relação a/ag e resistência à compressão são forte e muito forte, como foi observado na Figura 4.11 (c e d), onde apenas o Projeto 3ATI, nas misturas 'sem' ativadores, a variável independente relação água/aglomerante é muito forte, porém sendo o seu valor inferior ao referência.

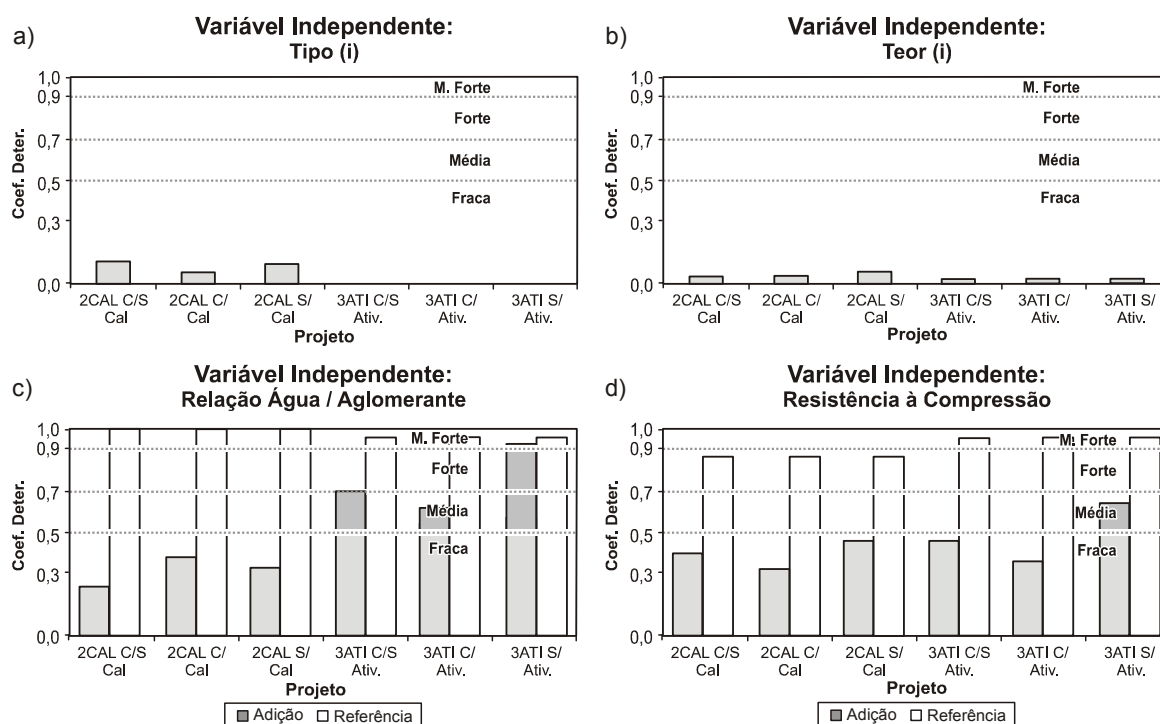


Figura 4.11 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente absorção capilar.

Quando analisado a influência do tipo (m) e teor (m) de adição na Tabela 4.18 percebe-se que, para o Projeto 2CAL somente as misturas ternárias possuem significância, sendo a CV-E com teor de 90% a mais representativa. Já para o Projeto 3ATI ocorre o contrário, pois todas as misturas apresentaram-se significativas, exceto uma. As binárias com CCA e CV com teor de 70% são mais significativas, devido ao valor do  $F_{cal}$ . Isto evidencia, neste caso, que a análise individual não é adequada para avaliar a influência do tipo e teor de adição mineral com as demais variáveis independentes.

Através dessa tabela, foi constatado que os coeficientes de determinação apresentaram-se forte e muito forte para a maioria dos modelos, portanto representam a variação dos dados dos projetos em questão.

Os resultados estatísticos encontrados para a absorção capilar de água mostram que, para o modelo geral nas 6 análises realizadas, não há evidência de uma variável independente preponderante entre as 4 estudadas, existindo tendência de predominância do teor em 3 análises, sobre os demais, com 2 análises cada uma. Entretanto, foi verificado que, para as regressões lineares individuais, a relação a/ag apresentou-se como a variável independente mais preponderante em 4

análises, contra 2 da resistência mecânica. Esses dados evidenciam que a absorção capilar, por ser propriedade que depende da quantidade e dimensões dos poros em contato com a superfície, apresentam maior grau de dependência da relação  $a/a_g$  do que da resistência, apesar de que ambas tenham apresentado um nível de significância forte em todas as 6 análises.

Tabela 4.18 - Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente absorção capilar. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| A H <sub>2</sub> O<br>Projetos |                | Tipo (m)       |                |             |              |             |              | Teor (m)    |              |              |              |              |   |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
|                                |                | CCA            | CV             | E           | CCA-CV       | CV-E        | E-CCA        | 20%         | 50%          | 70%          | 90%          |              |   |
| P 2CAL                         | Com e          | Fcal           | 2,68           | 6,24        | 2,88         | 13,41       | <b>67,76</b> | .           | .            | 9,02         | 25,52        | <b>106,9</b> |   |
|                                | Sem            | p              | 0,22           | 0,09        | 0,20         | <b>0,03</b> | <b>0,00</b>  | .           | .            | <b>0,01</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b>  |   |
|                                | Cal            | r <sup>2</sup> | 0,64           | <b>0,81</b> | 0,66         | <b>0,90</b> | <b>0,98</b>  | .           | .            | <b>0,77</b>  | <b>0,91</b>  | <b>0,99</b>  |   |
|                                | Com            | Fcal           | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | <b>59,03</b> | 35,51        | .            |   |
|                                |                | p              | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | <b>0,02</b>  | <b>0,03</b>  | .            |   |
|                                | Cal            | r <sup>2</sup> | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | <b>0,99</b>  | <b>0,98</b>  | .            |   |
|                                | Sem            | Fcal           | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | 10,97        | <b>49,45</b> | .            |   |
|                                |                | p              | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | 0,08         | <b>0,02</b>  | .            |   |
|                                | Cal            | r <sup>2</sup> | .              | .           | .            | .           | .            | .           | .            | <b>0,94</b>  | <b>0,99</b>  | .            |   |
|                                | P 3AtI         | Com e          | Fcal           | 18,00       | <b>189,6</b> | 27,61       | .            | .           | 6,69         | 17,02        | .            | <b>18,38</b> | . |
|                                |                | Sem            | p              | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b> | .            | .           | <b>0,03</b>  | <b>0,00</b>  | .            | <b>0,00</b>  | . |
|                                |                | Ati.           | r <sup>2</sup> | <b>0,80</b> | <b>0,99</b>  | <b>0,90</b> | .            | .           | 0,69         | <b>0,78</b>  | .            | <b>0,80</b>  | . |
| Com                            |                | Fcal           | <b>43,32</b>   | .           | 10,36        | .           | .            | 8,67        | 9,03         | .            | <b>10,78</b> | .            |   |
|                                |                | p              | <b>0,00</b>    | .           | <b>0,04</b>  | .           | .            | 0,06        | <b>0,01</b>  | .            | <b>0,00</b>  | .            |   |
| Ati.                           |                | r <sup>2</sup> | <b>0,94</b>    | .           | <b>0,87</b>  | .           | .            | <b>0,85</b> | <b>0,77</b>  | .            | <b>0,80</b>  | .            |   |
| Sem                            |                | Fcal           | .              | .           | .            | .           | .            | .           | <b>251,9</b> | .            | 14,08        | .            |   |
|                                |                | p              | .              | .           | .            | .           | .            | .           | <b>0,00</b>  | .            | 0,07         | .            |   |
| Ati.                           |                | r <sup>2</sup> | .              | .           | .            | .           | .            | .           | <b>1,00</b>  | .            | <b>0,95</b>  | .            |   |
| Total                          | p              | 2              | 1              | 2           | 1            | 1           | 1            | 3           | 2            | 5            | 1            |              |   |
| Projetos                       | r <sup>2</sup> | 2              | 2              | 2           | 1            | 1           | 1            | 3           | 3            | 6            | 1            |              |   |

#### 4.3.2.4 Permeabilidade ao oxigênio (P O<sub>2</sub>)

Os resultados desta análise estatística para o modelo geral encontram-se na Tabela 4.19, que demonstra que esses são significativos, para um nível de confiança de 95%, apesar das variáveis independentes que as compõem não serem, pois apenas o teor de adição nas misturas 'sem' cal é significativo. Essas variáveis independentes foram mantidas para a realização da comparação entre todas as variáveis dependentes pesquisadas.

A variação do coeficiente de determinação para o modelo geral do Projeto 2CAL pode ser observada na Figura 4.12. De acordo com a figura, é possível a visualização do  $r^2$  das misturas 'com e sem' cal em comparação com a 'sem' cal, uma vez que o coeficiente é crescente, o que indica que os dados das misturas com cal possuem uma dispersão maior que aquelas que não possuem. Somente essa última apresentou coeficiente de determinação forte.

Tabela 4.19 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente permeabilidade ao oxigênio. Valores grifados apresentam significância forte.

| P O <sub>2</sub> Projeto |               |        | Modelo Geral         | Variáveis Independentes |             |      |      |
|--------------------------|---------------|--------|----------------------|-------------------------|-------------|------|------|
|                          |               |        |                      | Tipo                    | Teor        | a/ag | fc   |
| P 2CAL                   | Com e Sem Cal | Fcal p | 4,45<br><b>0,01</b>  | 0,67                    | 0,50        | 0,98 | 0,39 |
|                          | Com Cal       | Fcal p | 3,57<br><b>0,05</b>  | 0,24                    | 0,06        | 0,09 | 0,18 |
|                          | Sem Cal       | Fcal p | 11,33<br><b>0,00</b> | 0,06                    | <b>0,01</b> | 0,06 | 0,21 |
| Total Projeto            |               | 3      | 3                    | .                       | 1           | .    | .    |

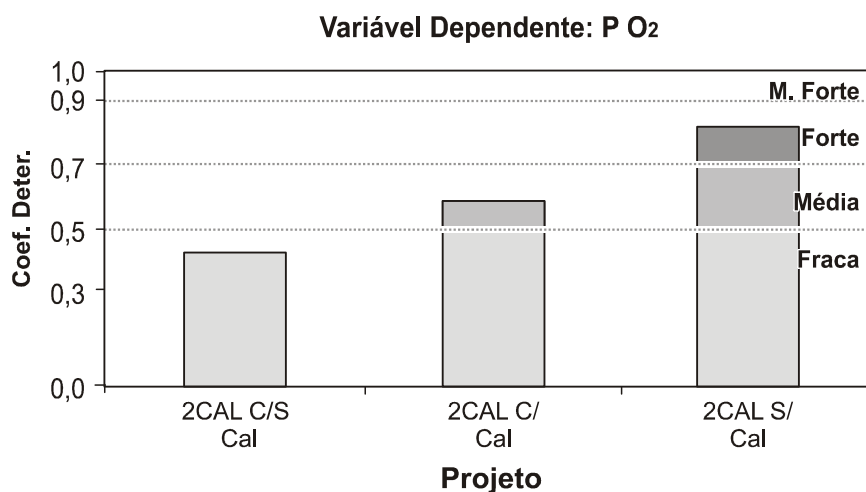


Figura 4.12 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente permeabilidade ao oxigênio.

A Tabela 4.20 apresenta as análises do modelo geral, individual (com e sem misturas), teor (m) e tipo (m) de adição, onde se constatou a significância para a variável dependente em estudo. Em complemento dessa tabela, a Figura 4.13 mostra os coeficientes de determinação das regressões lineares simples.

Desta forma, a análise de regressão linear dos efeitos individuais mostrou que o tipo (i) e teor (i) de adição apresentaram-se, na maioria dos projetos, com coeficiente de determinação fraco e significância forte (Tabela 4.20 e Figura 4.13 a), portanto, o modelo é significativo, mas não representa a variação dos dados devido ao  $r^2$ . O valor do  $F_{cal}$  em todas as misturas indica que o teor (i) de adição é a variável independente de maior significância para a variável dependente permeabilidade ao oxigênio.

Tabela 4.20 - Resumo da variável dependente permeabilidade ao oxigênio. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| P O <sub>2</sub><br>Projeto |                  | Modelo<br>Geral | Individual  |             |              |              |              | Referência   |              |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                             |                  |                 | Tipo (i)    | Teor (i)    | a/ag         | fc           | a/ag         | fc           |              |
| P 2CAL                      | Com e<br>Sem Cal | Fcal            | 4,45        | 13,40       | <b>14,96</b> | 1,38         | 7,79         | 6,77         | 1,51         |
|                             |                  | p               | <b>0,01</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | 0,25         | <b>0,01</b>  | 0,23         | 0,43         |
|                             |                  | r <sup>2</sup>  | 0,42        | 0,32        | 0,35         | 0,05         | 0,22         | <b>0,87</b>  | 0,60         |
|                             |                  | C.A.            |             |             |              | <b>403,0</b> | <b>-4,49</b> | 212,0        | -1,28        |
|                             | Com Cal          | Fcal            | 3,57        | 5,10        | <b>7,72</b>  | 1,62         | 4,40         | 6,77         | 1,51         |
|                             |                  | p               | <b>0,05</b> | <b>0,04</b> | <b>0,02</b>  | 0,23         | 0,06         | 0,23         | 0,43         |
|                             |                  | r <sup>2</sup>  | 0,59        | 0,28        | 0,37         | 0,11         | 0,25         | <b>0,87</b>  | 0,60         |
|                             |                  | C.A.            |             |             |              | 150,9        | -1,20        | <b>212,0</b> | <b>-1,28</b> |
|                             | Sem Cal          | Fcal            | 11,33       | 12,17       | <b>25,25</b> | 1,09         | 4,35         | 6,77         | 1,51         |
| p                           |                  | <b>0,00</b>     | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | 0,32         | 0,06         | 0,23         | 0,43         |              |
| r <sup>2</sup>              |                  | <b>0,82</b>     | 0,48        | 0,66        | 0,08         | 0,25         | <b>0,87</b>  | 0,60         |              |
| C.A.                        |                  |                 |             |             | <b>657,0</b> | <b>-6,41</b> | 212,0        | -1,28        |              |
| Total<br>Projetos           | p                | 3               | 3           | 3           | .            | 1            | .            | .            |              |
|                             | r <sup>2</sup>   | 1               | .           | .           | .            | .            | 3            | .            |              |
|                             | C.A.             | .               | .           | .           | 2            | 2            | 1            | 1            |              |

| P O <sub>2</sub><br>Projeto |                  |                | Tipo (m) |      |      |             |              | Teor (m)    |              |               |
|-----------------------------|------------------|----------------|----------|------|------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
|                             |                  |                | CV       | CCA  | E    | CV-CCA      | CV-E         | 50%         | 70%          | 90%           |
| P 2CAL                      | Com e<br>Sem Cal | Fcal           | 1,62     | 1,62 | 1,05 | 4,57        | <b>41,43</b> | 2,38        | 1,20         | <b>110,98</b> |
|                             |                  | p              | 0,33     | 0,33 | 0,45 | 0,12        | <b>0,01</b>  | 0,15        | 0,37         | <b>0,01</b>   |
|                             |                  | r <sup>2</sup> | 0,52     | 0,52 | 0,41 | <b>0,75</b> | <b>0,97</b>  | 0,47        | 0,31         | <b>0,99</b>   |
|                             | Com Cal          | Fcal           | .        | .    | .    | .           | .            | 2,59        | 10,46        | .             |
|                             |                  | p              | .        | .    | .    | .           | .            | 0,29        | 0,09         | .             |
|                             |                  | r <sup>2</sup> | .        | .    | .    | .           | .            | <b>0,80</b> | <b>0,94</b>  | .             |
|                             | Sem Cal          | Fcal           | .        | .    | .    | .           | .            | 2,52        | <b>26,11</b> | .             |
|                             |                  | p              | .        | .    | .    | .           | .            | 0,30        | <b>0,04</b>  | .             |
|                             |                  | r <sup>2</sup> | .        | .    | .    | .           | .            | <b>0,79</b> | <b>0,98</b>  | .             |
| Total<br>Projeto            | p                | .              | .        | .    | .    | 1           | .            | 1           | 1            |               |
|                             | r <sup>2</sup>   | .              | .        | .    | 1    | 1           | 2            | 2           | 1            |               |

Na Tabela 4.20 e Figura 4.13 (b e c) a relação água/aglomerante, em todas as misturas, apresentaram um coeficiente de determinação e significância fraca, enquanto na resistência à compressão, pôde-se observar que o coeficiente de determinação é fraco e existe forte significância nas misturas ‘com e sem’ cal e média nas ‘com’ e ‘sem’ cal, porque o modelo de regressão explica as variações dos dados ao nível de confiança de 90%, índice limite.

Analisando o concreto de referência (Figura 4.13 b e c), observou-se que os coeficientes de determinação são mais elevados comparados ao da análise individual, tanto para a relação água/aglomerante como para a resistência à compressão, sendo a primeira variável independente a única que apresentou coeficiente forte para as misturas.

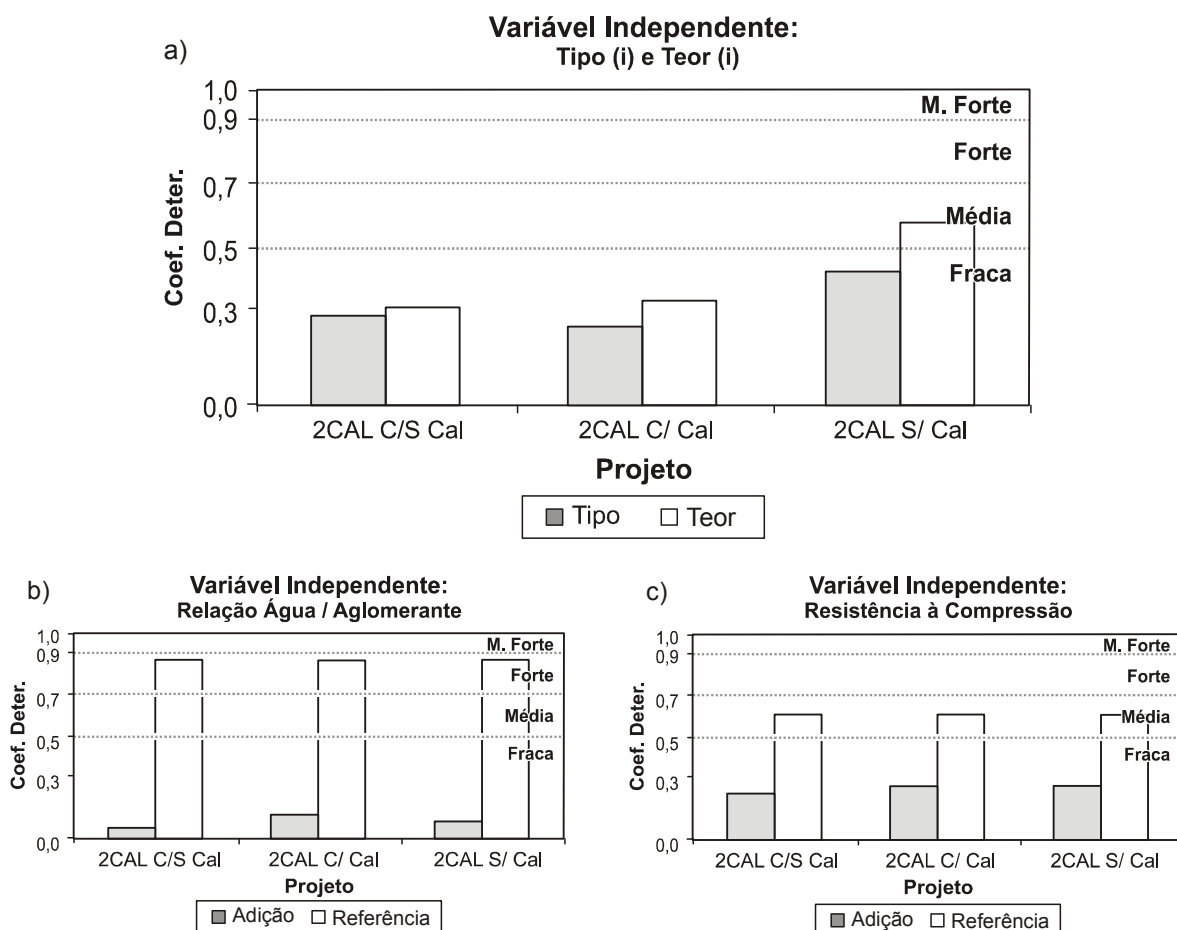


Figura 4.13 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente permeabilidade ao oxigênio.



Quando analisados os modelos para tipo (m) de adição, foi comprovado que a mistura ternária com CV-E é a única que possui significância, sendo as demais fracas ( $p > 0,10$ ).

No teor (m) de adição percebe-se um avanço da significância com o acréscimo do teor nas misturas. Quando comparadas as misturas, constata-se que as 'sem' cal ao teor de 70% e 90% nas 'com e sem' cal possuem uma significância forte ( $p < 0,05$ ).

Analisando o coeficiente de determinação, na Tabela 4.20, para o tipo (m) e teor (m) de adição, notou-se que esse se apresenta forte e muito forte nas misturas ternárias com alto teor de adição, superior a 70%.

Considerando o coeficiente angular dos modelos gerados, observa-se que a permeabilidade ao oxigênio é mais dependente da relação água/aglomerante e resistência à compressão nas misturas 'com e sem' e 'sem' cal e, no concreto de referência, nas misturas 'com' cal.

Avaliando o tipo (m) e teor (m) através da significância teve-se um comportamento distinto do que foi verificado para tipo (i) e teor (i), pois as respostas demonstraram ser diferentes das demais analisadas até o momento, porque, estas últimas, são mais significativas para a permeabilidade ao oxigênio do que as primeiras.

Os resultados estatísticos do coeficiente de difusão do oxigênio, segundo o modelo geral, evidenciaram que houve significância forte para as 3 análises realizadas, embora somente o Projeto 2CAL 'sem' cal tenha tido coeficiente de determinação forte. Assim, os modelos gerais e individuais por regressão linear múltipla e simples mostraram que o teor foi a variável independente preponderante nas 3, seguido do tipo de adição.

Considerando-se que este ensaio é realizado sob pressão elevada, a percolação de  $O_2$  depende dos obstáculos que o fluido encontra nos poros interconectados. O aumento do teor de adição mineral produz incremento da ação pozolânica e, por conseqüência, o refinamento dos poros e dos grãos, dificultando o fluxo de fluidos pelos poros. Comparado com a difusão de  $CO_2$  no ensaio de carbonatação, observa-se que o teor também é a variável independente mais influente, entretanto, neste último, o fluxo de fluido é sob pressão atmosférica, o que, provavelmente, faz com que a relação a/ag tenha mais significância do que no ensaio de difusão sob pressão.

## 4.3.2.5 Penetração de cloretos (P CI)

Na Tabela 4.21 é apresentado o modelo geral e a significância das variáveis independentes que o integram.

Tabela 4.21 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente penetração de cloretos. Valores grifados apresentam significância forte.

| P CI-<br>Projetos |                   | Modelo<br>Geral                   | Variáveis Independentes |             |      |             |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------|------|-------------|
|                   |                   |                                   | Tipo                    | Teor        | a/ag | fc          |
| P 1POZ            |                   | Fcal<br>p<br>11,00<br><b>0,00</b> | <b>0,04</b>             | 0,17        | 0,07 | <b>0,00</b> |
| P 2CAL            | Com e<br>Sem Cal  | Fcal<br>p<br>27,50<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,98 | 0,07        |
|                   | Com Cal           | Fcal<br>p<br>10,52<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | <b>0,02</b> | 0,98 | 0,48        |
|                   | Sem Cal           | Fcal<br>p<br>18,00<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,32 | 0,97        |
| P 3ATI            | Com e<br>Sem Ati. | Fcal<br>p<br>23,22<br><b>0,00</b> | <b>0,01</b>             | <b>0,00</b> | 0,06 | <b>0,00</b> |
|                   | Com Ati.          | Fcal<br>p<br>10,60<br><b>0,00</b> | <b>0,02</b>             | <b>0,00</b> | 0,22 | <b>0,01</b> |
|                   | Sem Ati.          | Fcal<br>p<br>12,84<br><b>0,00</b> | 0,85                    | <b>0,00</b> | 0,23 | <b>0,02</b> |
| P 4FIN            |                   | Fcal<br>p<br>19,46<br><b>0,00</b> | 0,10                    | <b>0,04</b> | 0,73 | 0,41        |
| Total Projetos    |                   | 8                                 | 8                       | 6           | 7    | 4           |

O modelo geral é significativo para as 8 análises realizadas, sendo que a variável independente mais preponderante é o teor de adição em 7, seguido do tipo em 6 e, por fim, a resistência à compressão com 4.

A análise do coeficiente de determinação do modelo geral é exposta na Figura 4.14.

Os coeficientes de determinação, em todos os projetos, encontram-se acima de 60%, significando que o modelo representa a variação dos dados, com coeficientes variando de médio a forte. Nas misturas com ativadores (cal hidratada ou químicos) novamente é percebido a sua influência, pois há uma redução no coeficiente, em relação às misturas que não possuem este tipo de adição, conforme exposto na Figura 4.14.

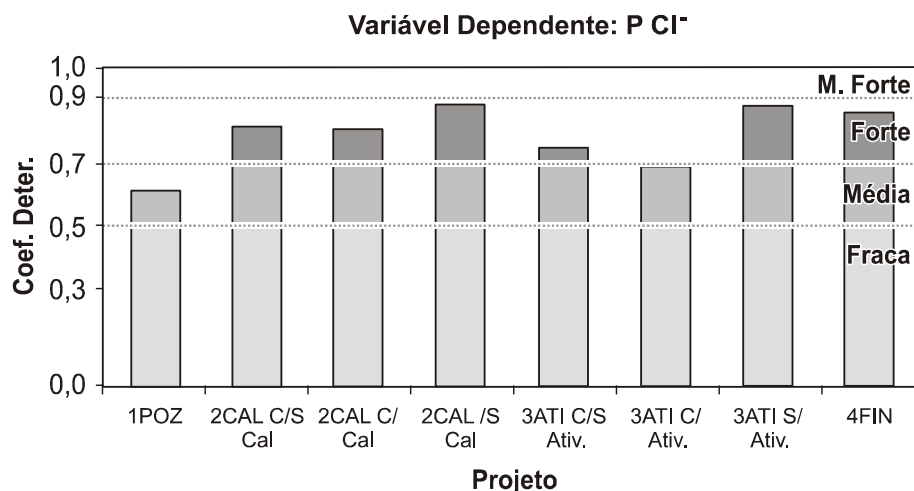


Figura 4.14 - Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente penetração de cloretos.

A Tabela 4.22 exibe os resultados dos efeitos individuais, entre os que apresentaram maior significância, encontram-se o teor (i) em 4 projetos, a relação a/ag em 3, o tipo em 2 e a resistência à compressão em uma. Analisando essas variáveis independentes através do  $F_{cal}$ , possibilita dizer o que mais influenciou em cada análise individual, destacando-se o teor (3), o tipo (2) e a relação água/aglomerante (1).

Observa-se que as misturas do concreto de referência possuem coeficiente de determinação muito forte e forte significância para o Projeto 3ATI, na variável independente relação água/aglomerante e resistência à compressão, e para o 2CAL, somente na primeira variável independente, para as demais misturas ambos os resultados se apresentam com significância fraca.

Considerando o coeficiente angular dos modelos, nota-se que a penetração de cloretos é mais dependente da relação água/aglomerante e resistência à compressão nos concretos de referência em 6 e 7 análises, enquanto que os com adição mineral em 2 e 1, respectivamente.

O efeito do tipo (m) de adição pode ser observado na Tabela 4.23, onde as misturas com maior significância são a CCA-CV no Projeto 1POZ, a CV-E no Projeto 2CAL (nas misturas ternárias), a CCA, CV no Projeto 3ATI (nas misturas binárias) e o Projeto 4FIN não apresentando significância para as misturas com escória nas diversas finuras.

Tabela 4.22 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente penetração de cloretos. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| P Cl-<br>Projetos |                   | Modelo<br>Geral | Individual   |             |              |               | Referência  |               |               |
|-------------------|-------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
|                   |                   |                 | Tipo (i)     | Teor (i)    | a/ag         | fc            | a/ag        | fc            |               |
| P 1POZ            | Fcal              | 11,00           | <b>18,49</b> | 0,34        | 3,02         | 16,51         | 25,47       | 10,72         |               |
|                   | p                 | <b>0,00</b>     | <b>0,00</b>  | 0,56        | 0,09         | <b>0,00</b>   | 0,12        | 0,19          |               |
|                   | r <sup>2</sup>    | 0,61            | 0,37         | 0,01        | 0,09         | 0,35          | <b>0,96</b> | <b>0,91</b>   |               |
|                   | C.A.              |                 |              |             | <b>3454</b>  | <b>-46,10</b> | 3370        | -29,10        |               |
| P 2CAL            | Com e<br>Sem Cal  | Fcal            | 27,50        | <b>5,99</b> | 0,43         | 2,31          | 2,43        | 231           | 15,29         |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | <b>0,02</b> | 0,52         | 0,14          | 0,13        | <b>0,04</b>   | 0,16          |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,81</b>  | 0,18        | 0,02         | 0,08          | 0,08        | <b>1,00</b>   | <b>0,94</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 1112          | -5,88       | <b>3770</b>   | <b>-26,46</b> |
|                   | Com Cal           | Fcal            | 10,52        | 4,34        | 0,91         | 1,60          | 1,13        | 231           | 15,29         |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | 0,06        | 0,36         | 0,23          | 0,31        | <b>0,04</b>   | 0,16          |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,81</b>  | 0,25        | 0,07         | 0,11          | 0,08        | <b>1,00</b>   | <b>0,94</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 1136          | -5,12       | <b>3770</b>   | <b>-26,46</b> |
|                   | Sem Cal           | Fcal            | 18,00        | 1,48        | 0,01         | 0,87          | 2,98        | 231           | 15,29         |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | 0,25        | 0,93         | 0,37          | 0,11        | <b>0,04</b>   | 0,16          |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,88</b>  | 0,10        | 0,00         | 0,06          | 0,19        | <b>1,00</b>   | <b>0,94</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 1089          | -10,16      | <b>3770</b>   | <b>-26,46</b> |
| P 3Ati            | Com e<br>Sem Ati. | Fcal            | 23,22        | 1,46        | <b>15,27</b> | 9,72          | 3,88        | 537           | 1104          |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | 0,24        | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>   | 0,06        | <b>0,03</b>   | <b>0,02</b>   |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,75</b>  | 0,04        | 0,31         | 0,22          | 0,10        | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 1185          | -5,85       | <b>5260</b>   | <b>-35,71</b> |
|                   | Com Ati.          | Fcal            | 10,60        | 0,89        | <b>9,88</b>  | 5,94          | 0,91        | 537           | 1104          |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | 0,36        | <b>0,00</b>  | <b>0,02</b>   | 0,35        | <b>0,03</b>   | <b>0,02</b>   |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | 0,69         | 0,04        | 0,31         | 0,21          | 0,04        | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 981           | -3,06       | <b>5260</b>   | <b>-35,71</b> |
|                   | Sem Ati.          | Fcal            | 12,84        | 0,42        | <b>6,10</b>  | 4,04          | 2,95        | 537           | 1104          |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b>  | 0,53        | <b>0,03</b>  | 0,07          | 0,12        | <b>0,03</b>   | <b>0,02</b>   |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,88</b>  | 0,04        | 0,38         | 0,29          | 0,23        | <b>1,00</b>   | <b>1,00</b>   |
|                   |                   | C.A.            |              |             |              | 1593          | -10,64      | <b>5260</b>   | <b>-35,71</b> |
| P 4FIN            | Fcal              | 19,46           | 1,11         | 5,48        | <b>17,97</b> | 1,74          | 15,50       | 17,86         |               |
|                   | p                 | <b>0,00</b>     | 0,31         | <b>0,03</b> | <b>0,00</b>  | 0,21          | 0,16        | 0,15          |               |
|                   | r <sup>2</sup>    | <b>0,86</b>     | 0,06         | 0,26        | 0,53         | 0,10          | <b>0,94</b> | <b>0,95</b>   |               |
|                   | C.A.              |                 |              |             | <b>3745</b>  | -15,09        | 3083        | <b>-29,30</b> |               |
| Total Projetos    | p                 | 8               | 2            | 4           | 3            | 1             | 6           | 3             |               |
|                   | r <sup>2</sup>    | 6               | .            | .           | .            | .             | 8           | 8             |               |
|                   | C.A.              | .               | .            | .           | 2            | 1             | 6           | 7             |               |

A Tabela 4.24 evidencia os resultados do modelo teor (m) de adição, onde se constata que apesar de todas as análises de variância realizada, apresenta significância forte, os valores de  $F_{cal}$  mostram valores ascendentes com o aumento

do teor de adição na mistura. O valor de  $F_{cal}$  mais elevado foi 6.469 para a mistura com 90% de adição mineral no Projeto 2Cal 'com e sem' o uso da cal.

Comparando os resultados obtidos, chegou-se à conclusão que o teor de adição de 70% foi o que mais vezes se apresentou com maior representatividade.

Tabela 4.23 - Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente penetração de cloretos. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| P CI-<br>Projetos |                | Tipo (m)       |              |              |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                   |                | CCA            | CV           | E            | E300        | E500        | E700        | F           | CCA-CV      | CV-E        | E-CCA       |             |
| P 1POZ            | Fcal           | 18,11          | 6,31         | .            | .           | .           | .           | 37,47       | <b>132</b>  | .           | .           |             |
|                   | p              | <b>0,00</b>    | <b>0,04</b>  | .            | .           | .           | .           | <b>0,00</b> | <b>0,01</b> | .           | .           |             |
|                   | r <sup>2</sup> | <b>0,92</b>    | <b>0,79</b>  | .            | .           | .           | .           | <b>0,96</b> | <b>0,99</b> | .           | .           |             |
| P 2CAL            | Com e          | Fcal           | 0,33         | 248          | 22,88       | .           | .           | .           | 31,69       | <b>1414</b> | .           |             |
|                   | Sem            | p              | 0,74         | <b>0,00</b>  | <b>0,02</b> | .           | .           | .           | <b>0,01</b> | <b>0,00</b> | .           |             |
|                   | Cal            | r <sup>2</sup> | 0,18         | <b>0,99</b>  | <b>0,94</b> | .           | .           | .           | <b>0,95</b> | <b>1,00</b> | .           |             |
|                   | Com            | Fcal           | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |
|                   |                | p              | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |
|                   | Cal            | r <sup>2</sup> | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |
| Fcal              |                | .              | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |             |
| P 3Ati            | Com e          | Fcal           | 17,00        | <b>37,34</b> | 12,00       | .           | .           | .           | .           | .           | 11,59       |             |
|                   | Sem            | p              | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b>  | <b>0,01</b> | .           | .           | .           | .           | .           | <b>0,01</b> |             |
|                   | Ati.           | r <sup>2</sup> | <b>0,79</b>  | <b>0,96</b>  | <b>0,80</b> | .           | .           | .           | .           | .           | <b>0,79</b> |             |
|                   | Com            | Fcal           | <b>23,03</b> | .            | 12,72       | .           | .           | .           | .           | .           | .           | 4,75        |
|                   |                | p              | <b>0,00</b>  | .            | <b>0,03</b> | .           | .           | .           | .           | .           | .           | 0,12        |
|                   | Ati.           | r <sup>2</sup> | <b>0,88</b>  | .            | <b>0,89</b> | .           | .           | .           | .           | .           | .           | <b>0,76</b> |
| Fcal              |                | .              | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |             |
| P 4FIN            | p              | .              | .            | .            | 6,00        | 7,43        | 7,27        | .           | .           | .           | .           |             |
|                   | r <sup>2</sup> | .              | .            | .            | <b>0,90</b> | <b>0,92</b> | <b>0,92</b> | .           | .           | .           | .           |             |
|                   | Fcal           | .              | .            | .            | .           | .           | .           | .           | .           | .           | .           |             |
| Total             | p              | 3              | 3            | 3            | .           | .           | .           | 1           | 2           | 1           | 1           |             |
| Projetos          | r <sup>2</sup> | 3              | 3            | 3            | 1           | 1           | 1           | 1           | 2           | 1           | 2           |             |

Tabela 4.24 - Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente penetração de cloretos. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| P Cl-<br>Projetos |                | Teor (m)       |             |             |              |             |              |              |              |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|                   |                | 12,5%          | 20%         | 25%         | 35%          | 50%         | 70%          | 90%          |              |
| P 1POZ            | Fcal           | <b>43,44</b>   | .           | 7,38        | .            | 10,73       | .            | .            |              |
|                   | p              | <b>0,00</b>    | .           | <b>0,01</b> | .            | <b>0,00</b> | .            | .            |              |
|                   | r <sup>2</sup> | <b>0,96</b>    | .           | <b>0,73</b> | .            | <b>0,80</b> | .            | .            |              |
| P 2CAL            | Com e          | Fcal           | .           | .           | .            | .           | 56,91        | 32,32        | <b>6.469</b> |
|                   |                | p              | .           | .           | .            | .           | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
|                   | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | .           | .           | .            | .           | <b>0,96</b>  | <b>0,92</b>  | <b>1,00</b>  |
|                   |                | Fcal           | .           | .           | .            | .           | 50,68        | <b>193</b>   | .            |
|                   | Com Cal        | p              | .           | .           | .            | .           | <b>0,02</b>  | <b>0,01</b>  | .            |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | .           | .            | .           | <b>0,99</b>  | <b>1,00</b>  | .            |
| Sem Cal           | Fcal           | .              | .           | .           | .            | 17,11       | <b>213</b>   | .            |              |
|                   | p              | .              | .           | .           | .            | 0,06        | <b>0,00</b>  | .            |              |
| r <sup>2</sup>    | .              | .              | .           | .           | <b>0,96</b>  | <b>1,00</b> | .            |              |              |
| P 3Ati            | Com e          | Fcal           | .           | 17,03       | .            | .           | .            | <b>85,95</b> | .            |
|                   |                | p              | .           | <b>0,00</b> | .            | .           | .            | <b>0,00</b>  | .            |
|                   | Sem Ati.       | r <sup>2</sup> | .           | <b>0,78</b> | .            | .           | .            | <b>0,95</b>  | .            |
|                   |                | Fcal           | .           | 7,08        | .            | .           | .            | <b>41,66</b> | .            |
|                   | Com Ati.       | p              | .           | <b>0,01</b> | .            | .           | .            | <b>0,00</b>  | .            |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | <b>0,73</b> | .            | .           | .            | <b>0,94</b>  | .            |
| Sem Ati.          | Fcal           | .              | 25,14       | .           | .            | .           | <b>63,32</b> | .            |              |
|                   | p              | .              | <b>0,04</b> | .           | .            | .           | <b>0,02</b>  | .            |              |
| r <sup>2</sup>    | .              | <b>0,97</b>    | .           | .           | .            | <b>0,99</b> | .            |              |              |
| P 4FIN            | Fcal           | .              | .           | .           | <b>46,30</b> | .           | 13,88        | .            |              |
|                   | p              | .              | .           | .           | <b>0,00</b>  | .           | <b>0,01</b>  | .            |              |
|                   | r <sup>2</sup> | .              | .           | .           | <b>0,97</b>  | .           | <b>0,89</b>  | .            |              |
| Total             | p              | 1              | 3           | 1           | 1            | 3           | 7            | 1            |              |
| Projetos          | r <sup>2</sup> | 1              | 3           | 1           | 1            | 4           | 7            | 1            |              |

Os coeficientes de determinação para as análises individuais do tipo (i) e teor (i) de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão com e sem adições estão graficamente representados na Figura 4.15.

O tipo (i) e teor (i) de adição (Figura 4.15 a e b), apresentam coeficiente de determinação fraco ( $r^2 < 0,50$ ) para todas as misturas estudadas.

Analisando o concreto de referência (Figura 4.15 c e d) para a relação água/aglomerante e resistência à compressão, observou-se um coeficiente de determinação muito forte ( $r^2 > 90\%$ ) para as variáveis independentes envolvidas maiores que os das misturas com adições minerais que apresentaram  $r^2$  fraco.

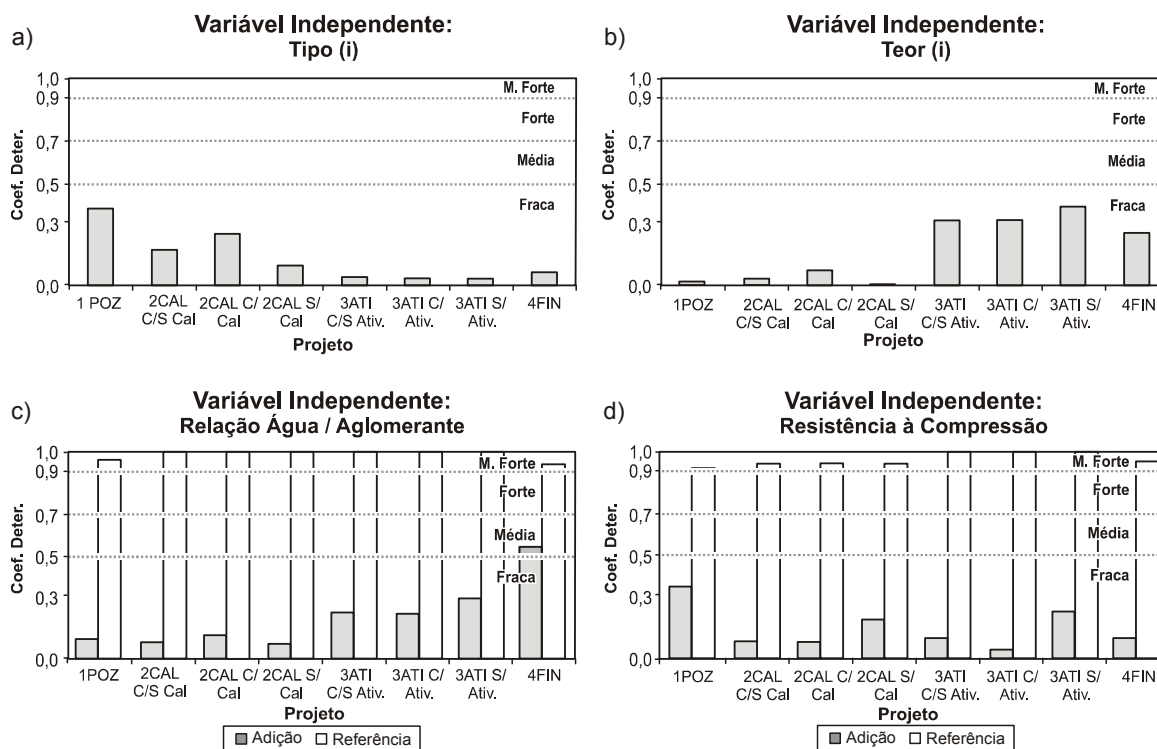


Figura 4.15 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente penetração de cloretos.

Os resultados estatísticos relativos à penetração de cloretos revelam que, para o modelo geral, a variável independente preponderante foi o teor, seguido do tipo de adição mineral. Por outro lado, as análises de variância com respeito ao teor (m) demonstram que, à medida que aumenta o teor de adição na mistura, também aumenta o valor de  $F_{cal}$ , mostrando que existe maior preponderância desses últimos. Com efeito, à medida que aumenta o teor de adição mineral na pasta cimentícia, os efeitos físicos e químicos decorrentes se reduzem, propiciando uma microestrutura mais compacta, dificultando a migração de íons pela matriz porosa. Isaia (1995) encontrou em seu estudo maior influência do tipo e/ou teor de pozolana sobre a redução da corrente elétrica passante, do que o aumento da resistência à compressão. Os resultados mostrados nas Tabelas 4.21, modelo geral e 4.24, modelo teor (m) ratificam estatisticamente esta tendência.

#### 4.3.2.6 Teor de cloretos retidos totais (T Cl')

Na Tabela 4.25 pode-se examinar a significância do modelo e suas variáveis independentes, onde se constata que, para as 4 análises realizadas, todas foram

significantes para o modelo geral. A variável independente que mais preponderou foi o teor em 3 análises, o tipo de adição em 2 e a resistência à compressão em 1.

Tabela 4.25 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente teor de cloretos retidos totais. Valores grifados apresentam significância forte.

| T CI-<br>Projetos |                   | Modelo<br>Geral                   | Variáveis Independentes |             |      |             |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------|------|-------------|
|                   |                   |                                   | Tipo                    | Teor        | a/ag | fc          |
| P 1POZ            |                   | Fcal<br>p<br>27,48<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | <b>0,02</b> | 0,16 | 0,10        |
| P 3ATI            | Com e<br>Sem Ati. | Fcal<br>p<br>5,40<br><b>0,00</b>  | 0,41                    | <b>0,00</b> | 0,46 | <b>0,02</b> |
|                   | Com Ati.          | Fcal<br>p<br>7,76<br><b>0,00</b>  | <b>0,02</b>             | 0,72        | 0,07 | 0,86        |
|                   | Sem Ati.          | Fcal<br>p<br>6,32<br><b>0,02</b>  | 0,08                    | <b>0,04</b> | 0,27 | 0,98        |
| Total<br>Projetos |                   | 4                                 | 4                       | 2           | 3    | 1           |

Os coeficientes de determinação para a variável dependente teor de cloretos retidos totais para os Projetos 1POZ e 3ATI podem ser observados na Figura 4.16, e também, se percebeu que as misturas sem ativadores químicos apresentam coeficiente de determinação forte.

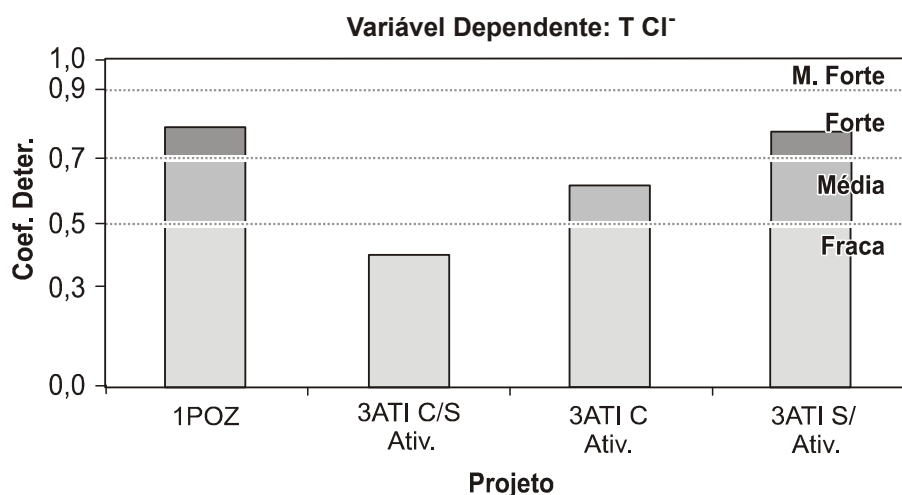


Figura 4.16 – Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente teor de cloretos retidos totais.

A análise de variância demonstra os efeitos individuais das variáveis independentes do modelo na Tabela 4.26. O tipo (i) e teor (i) de adição apresentam,



na maioria dos projetos, com significância fraca. As variáveis independentes que mais preponderaram foi a relação água/aglomerante e resistência à compressão, em 3 análises cada um.

Tabela 4.26 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente teor de cloretos retidos totais. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| T Cl-<br>Projetos |                   | Modelo<br>Geral | Individual  |          |             |              | Referência  |              |             |
|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|----------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|                   |                   |                 | Tipo (i)    | Teor (i) | a/ag        | fc           | a/ag        | fc           |             |
| P 1POZ            | Fcal              | 27,48           | 16,34       | 0,50     | 21,30       | <b>32,88</b> | 82,37       | 21,91        |             |
|                   | p                 | <b>0,00</b>     | <b>0,00</b> | 0,48     | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | 0,07        | 0,13         |             |
|                   | r <sup>2</sup>    | <b>0,80</b>     | 0,35        | 0,02     | 0,41        | 0,51         | <b>0,99</b> | <b>0,96</b>  |             |
|                   | C.A.              |                 |             |          | 1,41        | -0,01        | <b>1,75</b> | <b>-0,02</b> |             |
| P 3ATI            | Com e<br>Sem Ati. | Fcal            | 5,40        | 0,18     | 2,66        | <b>9,48</b>  | 6,73        | 24,80        | 21,75       |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,68     | 0,11        | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b> | 0,13         | 0,13        |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | 0,41        | 0,01     | 0,07        | 0,22         | 0,17        | <b>0,96</b>  | <b>0,96</b> |
|                   |                   | C.A.            |             |          |             | <b>0,20</b>  | <b>0,00</b> | 0,15         | 0,00        |
|                   | Com Ati.          | Fcal            | 7,76        | 3,83     | 0,35        | <b>18,41</b> | 9,12        | 24,80        | 21,75       |
|                   |                   | p               | <b>0,00</b> | 0,06     | 0,56        | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b> | 0,13         | 0,13        |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | 0,62        | 0,15     | 0,02        | 0,46         | 0,29        | <b>0,96</b>  | <b>0,96</b> |
|                   |                   | C.A.            |             |          |             | <b>0,17</b>  | 0,00        | 0,15         | <b>0,00</b> |
|                   | Sem Ati.          | Fcal            | 6,32        | 1,75     | <b>4,94</b> | 4,36         | 1,66        | 24,80        | 21,75       |
|                   |                   | p               | <b>0,02</b> | 0,22     | <b>0,05</b> | 0,06         | 0,23        | 0,13         | 0,13        |
|                   |                   | r <sup>2</sup>  | <b>0,78</b> | 0,15     | 0,33        | 0,30         | 0,14        | <b>0,96</b>  | <b>0,96</b> |
|                   |                   | C.A.            |             |          |             | <b>0,28</b>  | <b>0,00</b> | 0,15         | 0,00        |
| Total Projetos    | p                 | 4               | 1           | 1        | 3           | 3            | .           | .            |             |
|                   | r <sup>2</sup>    | 2               | .           | .        | .           | .            | 4           | 4            |             |
|                   | C.A.              | .               | .           | .        | 3           | 2            | 1           | 2            |             |

Analisando o concreto de referência, observou-se um coeficiente de determinação muito forte e uma fraca significância para quase todos os projetos, porque foi analisado a média dos resultados das três relações água/aglomerante e resistência à compressão de todos os dados coletados dos ensaios realizados para a variável dependente teor de cloretos retidos totais.

Considerando o coeficiente angular dos modelos individuais e do concreto de referência, observa-se que o teor de cloretos retidos totais é mais dependente da relação água/aglomerante nas misturas com adições minerais no Projeto 3ATI e no concreto de referência no Projeto 1POZ e a resistência à compressão no Projeto

3ATI (nas misturas 'com e sem' e 'sem' ativadores) com adição mineral e no concreto de referência nos Projetos 1POZ e 3ATI (nas misturas 'com' ativadores).

A Tabela 4.27 apresenta a significância e o coeficiente de determinação para as análises do tipo (m) e teor (m) de adição.

Tabela 4.27 - Resumo do tipo (m) e teor (m) de adição para a variável dependente teor de cloretos retidos totais. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| T Cl-<br>Projetos |                | Tipo (m)       |             |      |              |             |       | Teor (m)    |     |             |              |     |             |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|------|--------------|-------------|-------|-------------|-----|-------------|--------------|-----|-------------|
|                   |                | CCA            | CV          | E    | F            | CCA-CV      | E-CCA | 12,5%       | 20% | 25%         | 50%          | 70% |             |
| P 1POZ            | Fcal           | 26,95          | 4,87        | .    | <b>28,28</b> | 8,22        | .     | 4,13        | .   | 17,81       | <b>37,90</b> | .   |             |
|                   | p              | <b>0,00</b>    | 0,06        | .    | <b>0,00</b>  | 0,11        | .     | 0,08        | .   | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | .   |             |
|                   | r <sup>2</sup> | <b>0,94</b>    | <b>0,75</b> | .    | <b>0,94</b>  | <b>0,93</b> | .     | <b>0,71</b> | .   | <b>0,87</b> | <b>0,93</b>  | .   |             |
| P 3ATI            | Com e          | Fcal           | 2,21        | 0,56 | 2,38         | .           | .     | <b>8,83</b> | .   | 3,37        | .            | .   | <b>4,86</b> |
|                   |                | p              | 0,17        | 0,62 | 0,17         | .           | .     | <b>0,02</b> | .   | <b>0,05</b> | .            | .   | <b>0,02</b> |
|                   | Sem Ati.       | r <sup>2</sup> | 0,33        | 0,27 | 0,44         | .           | .     | <b>0,75</b> | .   | 0,42        | .            | .   | 0,51        |
|                   |                | Fcal           | <b>7,53</b> | .    | 1,61         | .           | .     | 6,40        | .   | <b>5,45</b> | .            | .   | 4,42        |
|                   | Com Ati.       | p              | <b>0,02</b> | .    | 0,33         | .           | .     | 0,08        | .   | <b>0,02</b> | .            | .   | <b>0,04</b> |
|                   |                | r <sup>2</sup> | <b>0,71</b> | .    | 0,52         | .           | .     | <b>0,81</b> | .   | 0,67        | .            | .   | 0,62        |
|                   | Sem Ati.       | Fcal           | .           | .    | .            | .           | .     | .           | .   | 2,34        | .            | .   | 4,95        |
|                   |                | p              | .           | .    | .            | .           | .     | .           | .   | 0,31        | .            | .   | 0,17        |
|                   |                | r <sup>2</sup> | .           | .    | .            | .           | .     | .           | .   | <b>0,78</b> | .            | .   | <b>0,88</b> |
|                   | Total          | p              | 2           | .    | .            | 1           | .     | 1           | .   | 2           | 1            | 1   | 2           |
|                   | Projetos       | r <sup>2</sup> | 2           | 1    | .            | 1           | 1     | 2           | 1   | 1           | 1            | 1   | 1           |

Se analisado o modelo de regressão para tipo (m) e teor (m) de adição na Tabela 4.27, percebe-se uma predominância da significância que varia de média a muito forte. Para as misturas binárias com CCA e F nos teores de 20% e 50%, respectivamente e as misturas ternárias E-CCA no teor de 70% são as mais significativas.

As análises individuais dos coeficientes de determinação para o tipo (i) e teor (i) de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão com e sem adições minerais são apresentadas na Figura 4.17.

Pode-se visualizar na Figura 4.17 (a e b) que os coeficientes de determinação para o tipo (i) e teor (i) de adição são fracos ( $r^2 < 0,50$ ). Para a relação água/aglomerante e resistência à compressão (Figura 4.17 c e d), as misturas 'com' ativadores químicos e cal hidratada têm um coeficiente de determinação mais elevado que as 'sem' esses ativadores, mostrando que nessa variável aconteceu o

inverso das demais, porém estes valores foram inferiores ao das misturas do concreto de referência.

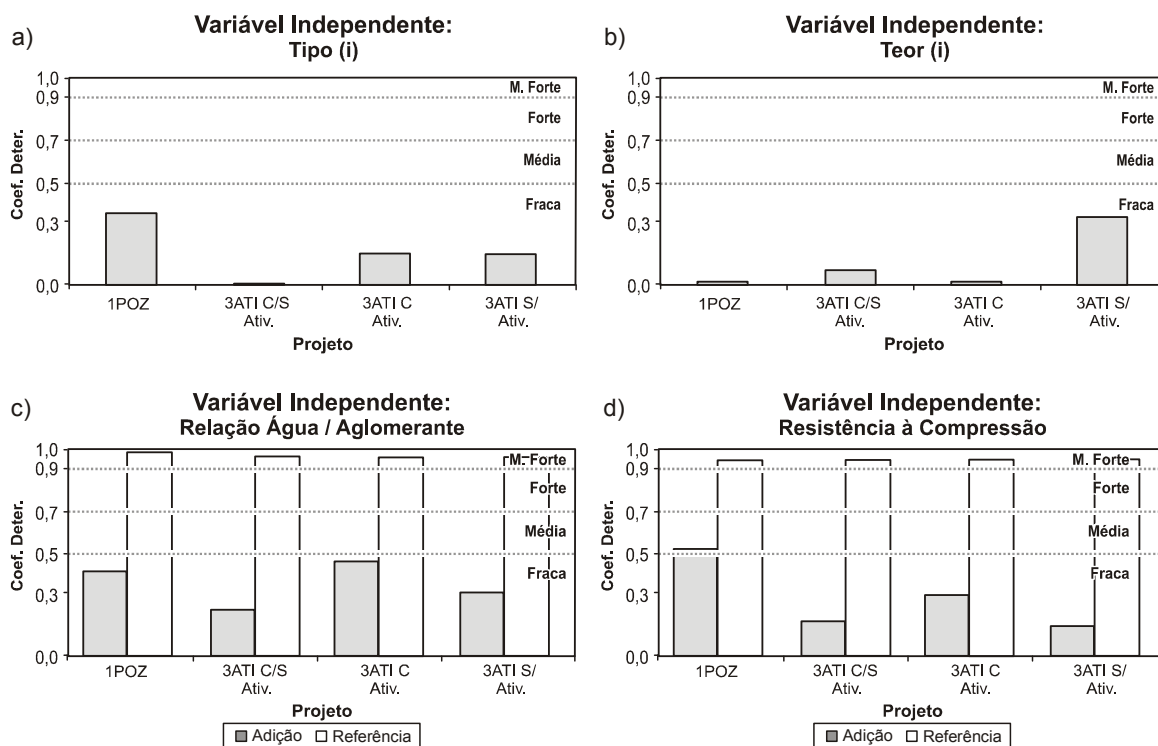


Figura 4.17 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente teor de cloretos retidos totais.

A análise dos resultados estatísticos dos ensaios de retenção total de cloretos evidencia as variáveis independentes mais preponderantes no modelo geral: teor e tipo de adição mineral. Entretanto, na análise individual por regressão linear simples, as variáveis independentes principais foram a relação  $a/ag$  e a resistência à compressão. Os ensaios de retenção de cloretos foram realizados após o de penetração, o que indica que ambos tenham correlação entre si, como mostraram os resultados estatísticos. Por outro lado, Isaia (1995) estabeleceu correlação estatística entre penetração de cloretos e retenção de cloretos retidos, tendo obtido forte correlação linear entre ambos, o que ratifica os resultados do presente trabalho. A Tabela 4.27 também mostra as evidências de que o teor de cloretos retidos totais aumenta com o teor de adição mineral, quando se analisa os dados sob a ótica do modelo teor ( $m$ ).

4.3.2.7 Relação iônica Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>

Na Tabela 4.28 é apresentado o modelo geral e a significância das variáveis independentes que o compõem, onde apenas nos Projeto 2CAL e 3ATI (nas misturas 'sem' ativadores, cal hidratada e químico) o modelo geral não é significativo. Desse modo, as variáveis independentes que mais influenciaram no modelo foram o tipo de adição em 3 análises, o teor de adição e a relação a/ag em 2 análises.

Tabela 4.28 - Resumo do modelo geral e da significância das variáveis independentes para a variável dependente relação iônica Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>. Valores grifados apresentam significância forte.

| Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> -<br>Projetos |                   |           | Modelo<br>Geral      | Variáveis Independentes |             |             |      |
|--|-------------------|-----------|----------------------|-------------------------|-------------|-------------|------|
|  |                   |           |                      | Tipo                    | Teor        | a/ag        | fc   |
| P 2CAL   | Com e<br>Sem Cal  | Fcal<br>p | 5,14<br><b>0,00</b>  | <b>0,00</b>             | <b>0,00</b> | 0,62        | 0,06 |
|  | Com Cal           | Fcal<br>p | 8,49<br><b>0,00</b>  | 0,06                    | 0,43        | <b>0,03</b> | 0,24 |
|  | Sem Cal           | Fcal<br>p | 2,66<br>0,10         | <b>0,03</b>             | <b>0,05</b> | 0,61        | 0,12 |
| P 3ATI   | Com e<br>Sem Ati. | Fcal<br>p | 2,94<br><b>0,04</b>  | 0,35                    | 0,40        | 0,12        | 0,78 |
|  | Com Ati.          | Fcal<br>p | 10,23<br><b>0,00</b> | <b>0,00</b>             | 0,09        | <b>0,01</b> | 0,22 |
|  | Sem Ati.          | Fcal<br>p | 2,04<br>0,19         | 0,79                    | 0,27        | 0,10        | 0,36 |
| P 4FIN   |                   | Fcal<br>p | 6,49<br><b>0,00</b>  | 0,12                    | 0,75        | 0,74        | 0,76 |
| Total<br>Projetos                              |                   | 7         | 5                    | 3                       | 2           | 2           | .    |

Os coeficientes de determinação do modelo geral são apresentados na Figura 4.18, onde se constata que as misturas possuidoras de adição de cal hidratada e os ativadores químicos possuem um coeficiente superior aos demais do mesmo projeto.

No Projeto 4FIN o coeficiente de determinação é médio ( $0,70 > r^2 > 0,50$ ), devido ao distúrbio que ocorre nos resultados do modelo geral, pois foi estudado as três finuras (300, 500 e 700 m<sup>2</sup>/Kg) da escória de alto-forno em conjunto, quando teriam que ser analisados isoladamente.

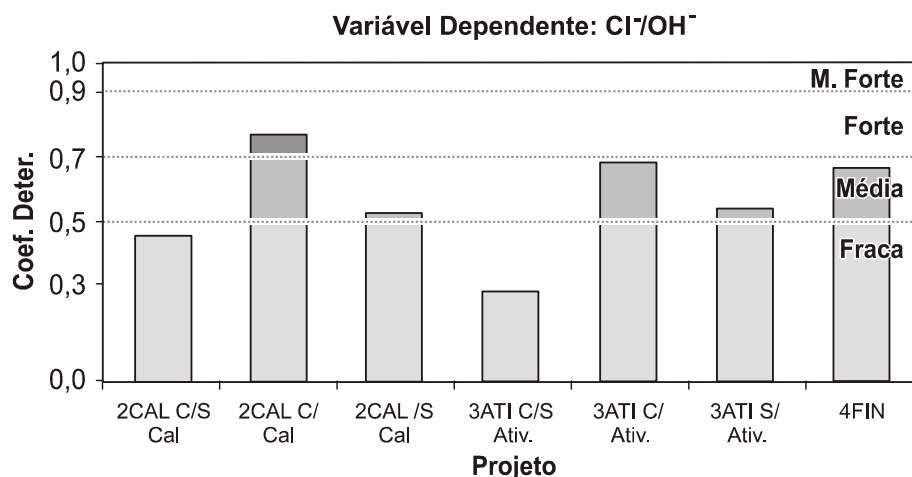


Figura 4.18 - Variação do coeficiente de determinação do modelo geral para a variável dependente relação iônica  $Cl^-/OH^-$ .

Na Tabela 4.29, é apresentado os resultados das significâncias individuais, para as misturas com e sem adições minerais e, na Figura 4.19, os coeficientes de determinação para o tipo (i), teor (i), relação água/aglomerante e resistência à compressão.

Verificando os efeitos individuais do tipo (i) e teor (i) de adição notou-se que a significância é fraca ( $p > 0,10$ ) em todos os projetos estudados. E ainda, observa-se que a relação água/aglomerante, na análise individual, é a variável independente que mais prepondera, em 6 análises e também possui o valor do  $F_{cal}$  maior para 5 misturas, comprovando a influência desse na relação iônica.

Avaliando o coeficiente angular dos modelos, observa-se que a relação iônica é mais dependente da relação água/aglomerante e da resistência à compressão nas misturas com adições minerais em 5 análises, enquanto que o concreto de referência em 2.

Comparando, na Tabela 4.29, a relação água/aglomerante e resistência à compressão das misturas sem e com adições minerais, percebe-se uma maior significância para os modelos com adições, entretanto o coeficiente de determinação é mais elevado nas misturas sem adições (Figura 4.19 c e d).

Tabela 4.29 - Resumo do modelo geral e individual para a variável dependente relação iônica Cl/OH<sup>-</sup>. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| Cl-/OH-Projetos |                | Modelo         | Individual  |             |             |              | Referência   |             |              |
|-----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|                 |                | Geral          | Tipo (i)    | Teor (i)    | a/ag        | fc           | a/ag         | fc          |              |
| P 2CAL          | Com e          | Fcal           | 5,14        | 2,07        | 0,25        | 4,06         | <b>6,53</b>  | 22,57       | 3,00         |
|                 |                | p              | <b>0,00</b> | 0,16        | 0,62        | <b>0,05</b>  | <b>0,02</b>  | 0,13        | 0,33         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | 0,45        | 0,07        | 0,01        | 0,13         | 0,19         | <b>0,96</b> | <b>0,75</b>  |
|                 | Sem Cal        | C.A.           |             |             |             | <b>5,79</b>  | <b>-0,04</b> | 3,73        | -0,02        |
|                 | Com Cal        | Fcal           | 8,49        | 1,17        | 0,30        | <b>13,78</b> | 6,38         | 22,57       | 3,00         |
|                 |                | p              | <b>0,00</b> | 0,30        | 0,60        | <b>0,00</b>  | <b>0,03</b>  | 0,13        | 0,33         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | <b>0,77</b> | 0,08        | 0,02        | 0,51         | 0,33         | <b>0,96</b> | <b>0,75</b>  |
|                 | Sem Cal        | C.A.           |             |             |             | 2,56         | -0,01        | <b>3,73</b> | <b>-0,02</b> |
|                 | Sem Cal        | Fcal           | 2,66        | 0,88        | 0,20        | 3,17         | 3,08         | 22,57       | 3,00         |
|                 |                | p              | 0,10        | 0,37        | 0,66        | 0,10         | 0,10         | 0,13        | 0,33         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | 0,52        | 0,06        | 0,02        | 0,20         | 0,19         | <b>0,96</b> | <b>0,75</b>  |
|                 | Sem Cal        | C.A.           |             |             |             | <b>9,02</b>  | <b>-0,05</b> | 3,73        | -0,02        |
| P 3AtI          | Com e          | Fcal           | 2,94        | 0,69        | 0,70        | <b>10,34</b> | 8,40         | 22,85       | 20,13        |
|                 |                | p              | <b>0,04</b> | 0,41        | 0,41        | <b>0,00</b>  | <b>0,01</b>  | 0,13        | 0,14         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | 0,28        | 0,02        | 0,02        | 0,23         | 0,20         | <b>0,96</b> | <b>0,95</b>  |
|                 | Sem Ati.       | C.A.           |             |             |             | <b>7,57</b>  | <b>-0,05</b> | 6,90        | -0,05        |
|                 | Com Ati.       | Fcal           | 10,23       | 6,01        | 0,66        | <b>15,45</b> | 13,75        | 22,85       | 20,13        |
|                 |                | p              | <b>0,00</b> | <b>0,02</b> | 0,43        | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | 0,13        | 0,14         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | 0,68        | 0,21        | 0,03        | 0,41         | 0,38         | <b>0,96</b> | <b>0,95</b>  |
|                 | Sem Ati.       | C.A.           |             |             |             | 4,20         | -0,03        | <b>6,90</b> | <b>-0,05</b> |
|                 | Sem Ati.       | Fcal           | 2,04        | 0,35        | 0,40        | <b>6,72</b>  | 3,10         | 22,85       | 20,13        |
|                 |                | p              | 0,19        | 0,57        | 0,54        | <b>0,03</b>  | 0,11         | 0,13        | 0,14         |
|                 |                | r <sup>2</sup> | 0,54        | 0,03        | 0,04        | 0,40         | 0,24         | <b>0,96</b> | <b>0,95</b>  |
|                 | Sem Ati.       | C.A.           |             |             |             | <b>14,32</b> | <b>-0,08</b> | 6,90        | -0,05        |
| P 4FIN          | Fcal           | 6,49           | 6,97        | 0,00        | <b>9,00</b> | 1,79         | 56,33        | 44,47       |              |
|                 | p              | <b>0,00</b>    | <b>0,02</b> | 0,96        | <b>0,01</b> | 0,20         | 0,08         | 0,09        |              |
|                 | r <sup>2</sup> | 0,67           | 0,30        | 0,00        | 0,36        | 0,10         | <b>0,98</b>  | <b>0,98</b> |              |
|                 | C.A.           |                |             |             | <b>4,14</b> | <b>-0,02</b> | 0,87         | -0,01       |              |
| Total Projetos  | p              | 5              | 2           | .           | 6           | 4            | .            | .           |              |
|                 | r <sup>2</sup> | 1              | .           | .           | .           | .            | 7            | 7           |              |
|                 | C.A.           | .              | .           | .           | 5           | 5            | 2            | 2           |              |

A Tabela 4.30 apresenta a significância e os coeficientes de determinação da regressão linear múltipla da variável independente tipo de adição. Pretende-se observar que as misturas com E apresentam significância e coeficiente de determinação superior as demais misturas e apenas a CCA apresentou significância ( $p < 0,05$ ).

Tabela 4.30 - Resumo do tipo (m) de adição para a variável dependente relação iônica Cl/OH. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| Cl-/OH-Projetos |                | Tipo (m)       |             |      |              |             |             |             |             |       |              |
|-----------------|----------------|----------------|-------------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--------------|
|                 |                | CCA            | CV          | E    | E300         | E500        | E700        | CCA-CV      | CV-E        | E-CCA |              |
| P 2CAL          | Com e          | Fcal           | 2,83        | 2,37 | <b>36,63</b> | .           | .           | .           | 3,89        | 1,39  | .            |
|                 |                | p              | 0,20        | 0,24 | <b>0,01</b>  | .           | .           | .           | 0,15        | 0,37  | .            |
|                 | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | 0,65        | 0,61 | <b>0,96</b>  | .           | .           | .           | <b>0,72</b> | 0,48  | .            |
|                 | Com Cal        | Fcal           | .           | .    | .            | .           | .           | .           | .           | .     | .            |
|                 |                | p              | .           | .    | .            | .           | .           | .           | .           | .     | .            |
|                 |                | r <sup>2</sup> | .           | .    | .            | .           | .           | .           | .           | .     | .            |
| P 3Ati          | Com e          | Fcal           | 2,64        | 0,87 | 2,15         | .           | .           | .           | .           | .     | 2,65         |
|                 |                | p              | 0,12        | 0,50 | 0,20         | .           | .           | .           | .           | .     | 0,15         |
|                 | Sem Ati.       | r <sup>2</sup> | 0,37        | 0,37 | 0,42         | .           | .           | .           | .           | .     | 0,47         |
|                 | Com Ati.       | Fcal           | 10,02       | .    | 1,58         | .           | .           | .           | .           | .     | <b>14,82</b> |
|                 |                | p              | <b>0,01</b> | .    | 0,34         | .           | .           | .           | .           | .     | <b>0,03</b>  |
|                 |                | r <sup>2</sup> | <b>0,77</b> | .    | 0,51         | .           | .           | .           | .           | .     | <b>0,91</b>  |
| P 4FIN          |                | Fcal           | .           | .    | .            | 10,19       | 15,15       | 5,04        | .           | .     | .            |
|                 |                | p              | .           | .    | .            | 0,09        | 0,06        | 0,17        | .           | .     | .            |
|                 |                | r <sup>2</sup> | .           | .    | .            | <b>0,94</b> | <b>0,96</b> | <b>0,88</b> | .           | .     | .            |
| Total           | p              | 1              | .           | 1    | .            | .           | .           | .           | .           | 1     |              |
| Projetos        | r <sup>2</sup> | 1              | .           | 1    | 1            | 1           | 1           | 1           | .           | 1     |              |

Os resultados da análise estatística do teor (m) de adição são dispostos na Tabela 4.31, onde se observa a predominância do teor de 50% em 3 misturas e 70 e 20% em 2. Quando se nota o  $F_{cal}$  pode-se chegar à conclusão que todos os teores, independentes do uso ou não de ativador e da finura, possuem uma forte significância para a relação iônica.

As análises dos coeficientes de determinação para as regressões lineares simples, para as variáveis independentes envolvidas nesta pesquisa, são apresentadas na Figura 4.19, onde a relação água/aglomerante e a resistência à compressão são comparadas nas misturas com e sem adições minerais.

O tipo (i) e teor (i) de adição expressam fraco coeficiente de determinação (Figura 4.19 a e b).

Tabela 4.31 - Resumo do teor (m) de adição para a variável dependente relação iônica Cl/OH<sup>-</sup>. Valores grifados apresentam significância forte e coeficiente de determinação forte e muito forte.

| Cl-/OH-<br>Projetos |                | Teor (m)       |             |              |              |             |             |
|---------------------|----------------|----------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|                     |                | 20%            | 35%         | 50%          | 70%          | 90%         |             |
| P 2CAL              | Com e          | Fcal           | .           | .            | <b>7,16</b>  | 4,72        | 1,97        |
|                     |                | p              | .           | .            | <b>0,01</b>  | <b>0,04</b> | 0,35        |
|                     | Sem Cal        | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>0,73</b>  | 0,64        | <b>0,75</b> |
|                     | Com Cal        | Fcal           | .           | .            | <b>21,74</b> | 7,28        | .           |
|                     |                | p              | .           | .            | <b>0,04</b>  | 0,12        | .           |
|                     |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>0,97</b>  | <b>0,92</b> | .           |
| P 3ATI              | Sem Cal        | Fcal           | .           | .            | <b>1385</b>  | 8,45        | .           |
|                     |                | p              | .           | .            | <b>0,00</b>  | 0,11        | .           |
|                     |                | r <sup>2</sup> | .           | .            | <b>1,00</b>  | <b>0,93</b> | .           |
|                     | Com e          | Fcal           | <b>4,23</b> | .            | .            | 2,53        | .           |
|                     |                | p              | <b>0,03</b> | .            | .            | 0,10        | .           |
|                     | Sem Ati.       | r <sup>2</sup> | 0,48        | .            | .            | 0,35        | .           |
| P 4FIN              | Com Ati.       | Fcal           | 7,21        | .            | .            | <b>7,22</b> | .           |
|                     |                | p              | <b>0,01</b> | .            | .            | <b>0,01</b> | .           |
|                     |                | r <sup>2</sup> | <b>0,73</b> | .            | .            | <b>0,73</b> | .           |
|                     | Sem Ati.       | Fcal           | 2,54        | .            | .            | 2,71        | .           |
|                     |                | p              | 0,30        | .            | .            | 0,28        | .           |
|                     |                | r <sup>2</sup> | <b>0,79</b> | .            | .            | <b>0,80</b> | .           |
| P 4FIN              |                | Fcal           | .           | <b>39,77</b> | .            | 4,40        | .           |
|                     |                | p              | .           | <b>0,00</b>  | .            | 0,07        | .           |
|                     |                | r <sup>2</sup> | .           | <b>0,96</b>  | .            | <b>0,73</b> | .           |
| Total               | p              | 2              | 1           | 3            | 2            | .           |             |
| Projetos            | r <sup>2</sup> | 2              | 1           | 3            | 5            | 1           |             |

Nas variáveis independentes relação água/aglomerante e resistência à compressão (Figura 4.19 c e d), o coeficiente de determinação nas misturas que possuem uso de ativadores apresentaram um valor superior às misturas 'com e sem' e 'sem'. Conforme essa figura, salienta-se que os coeficientes das misturas com adições minerais são inferiores aos das misturas sem adições.

A análise dos modelos teor (m) evidencia que, à medida que aumenta a quantidade de adição mineral nas misturas, incrementam as preponderâncias dessa variável independente sobre as relações iônicas. Esse fato corrobora com os resultados anteriores de penetração e retenção de cloretos, visto que a relação iônica é uma consequência direta dos resultados dos ensaios anteriores. Entretanto, no modelo geral, não se constata uma tendência de influência específica de uma variável independente sobre outra, tal como constata a Tabela 4.29.



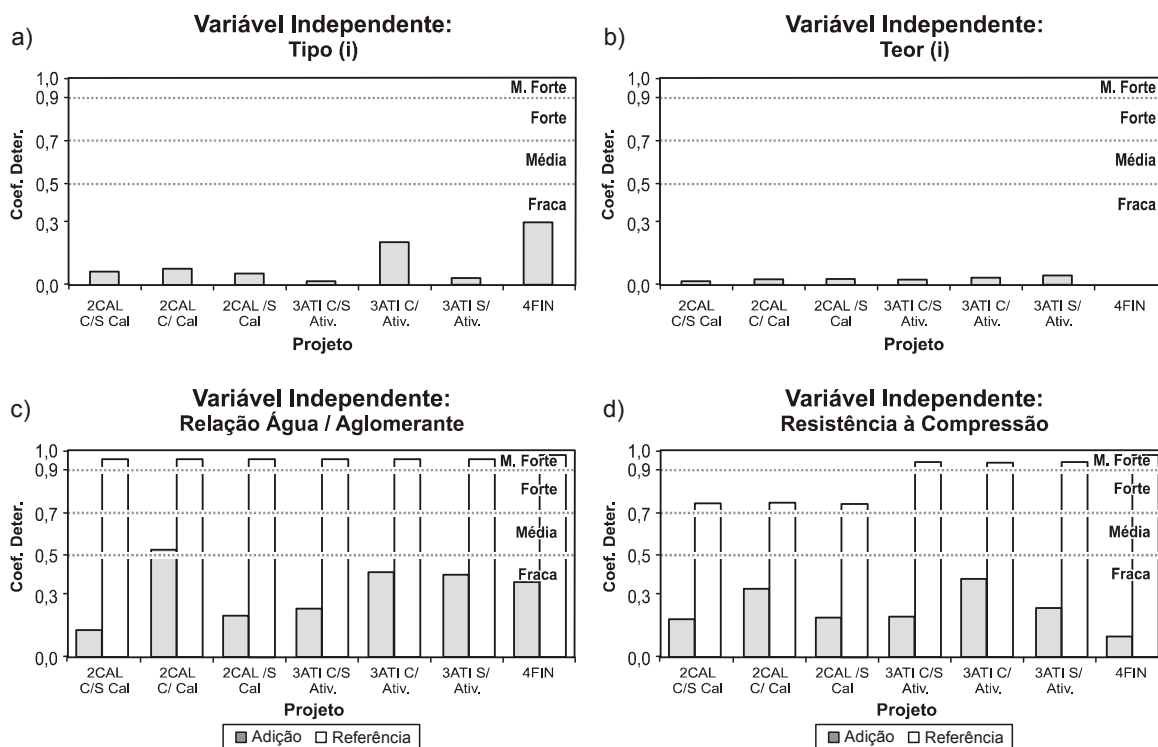


Figura 4.19 – Variação do coeficiente de determinação das variáveis independentes analisadas através da regressão linear simples da variável dependente relação iônica.

#### 4.4 Considerações gerais sobre as variáveis

Ao longo de toda análise realizada foi possível constatar que as adições minerais, em maior ou menor escala, influenciaram em diversas propriedades do concreto. A seguir são discutidos, de modo conjunto, esses efeitos observados.

Fazendo-se uma análise global dos resultados exibidos, pode-se identificar os resultados que mais interferiram nos modelos das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, em relação ao número total de análises observadas. No final das tabelas, encontram-se os totais e os percentuais das análises mais significativas em relação ao seu número total. Aparecem grifados em negrito os valores de  $F_{cal}$  mais elevados para cada uma das variáveis independentes, com a finalidade de evidenciar aquelas que foram mais importantes.

Os percentuais calculados ao final das tabelas não podem ser levados em termos absolutos, porque as análises das variáveis independentes mais significativas foram realizadas em conjunto com os  $F_{cal}$  mais altos.

#### 4.4.1 Análise das variáveis dependentes da microestrutura

##### 4.4.1.1 Teor de água combinada e hidróxido de cálcio remanescente

Analisados os modelos e as variáveis independentes que influenciam nas variáveis dependentes teor de água combinada e hidróxido de cálcio remanescente, pode ser observado na Tabela 4.32 esses resultados por incidência de significância e coeficiente de determinação.

Para o teor de água combinada a variável independente mais importante foi a relação  $a/ag$ , seguida da resistência à compressão. Nota-se que a água combinada é uma variável que depende da hidratação do cimento e não das reações pozolânicas, razão pela qual, tanto o tipo e teor de adição deixaram de ser significativos no modelo geral.

O modelo geral da variável dependente CH apresenta significância forte e coeficiente de determinação variando de muito forte a forte. Dentre as variáveis independentes que mais influenciaram a variável dependente CH desse modelo, o teor, o tipo, a resistência à compressão e a relação  $a/ag$  nesta ordem, são os que apresentaram maior significância. Observa-se que o CH foi a única variável dependente, entre todas estudadas, que apresentou significância forte nas quatro variáveis independentes e também no próprio modelo geral, confirmando estatisticamente ser um parâmetro de grande relevância que influencia a microestrutura das pastas com adições minerais, como bem enfatizou a literatura.

Os modelos individuais para as variáveis independentes estudadas mostraram alguma significância somente para o tipo e teor, enquanto que para o concreto de referência somente a resistência teve discreta significância. Nenhuma regressão apresentou coeficiente de determinação forte para as regressões lineares simples nas misturas com adições minerais, enquanto que, para o concreto de referência, todas apresentaram este coeficiente muito forte ou forte. Esses dados revelaram que as adições minerais, quando estudadas isoladamente, devido a modificações que introduzem na microestrutura das pastas cimentícias, aumentaram as dispersões dos resultados em relação às pastas de referência.

Através do coeficiente angular podemos concluir que as misturas sem adições minerais (referência) apresentaram uma dependência maior que as misturas

com adições para a relação água/aglomerante e para a resistência à compressão, confirmando o que foi dito no parágrafo anterior.

Tabela 4.32 – Resumo das variáveis dependentes água combinada e hidróxido de cálcio remanescente para todos os projetos em estudo - Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos.

| VARIÁVEIS DA MICROESTRUTURA |                | Modelo Geral | Variáveis Independentes |      |      |     | Individual |          |      |      | Referência |      |
|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------------|------|------|-----|------------|----------|------|------|------------|------|
|                             |                |              | Tipo                    | Teor | a/ag | fc  | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag | fc   | a/ag       | fc   |
| AC                          | p              | 1/1          | .                       | .    | 1/1  | 1/1 | .          | 1/1      | .    | .    | 1/1        | 1/1  |
|                             | r <sup>2</sup> | .            | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | .    | 1/1  | 1/1        | 1/1  |
|                             | C.A.           | .            | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | .    | 1/1  | 1/1        | 1/1  |
| CH                          | p              | 5/5          | 3/5                     | 5/5  | 2/5  | 3/5 | 1/5        | 2/5      | .    | .    | .          | .    |
|                             | r <sup>2</sup> | 5/5          | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | .    | 5/5  | 5/5        | 5/5  |
|                             | C.A.           | .            | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | 3/5  | 5/5  | 2/5        | 2/5  |
| Total                       | p              | 6/6          | 3/6                     | 5/6  | 3/6  | 4/6 | 2/6        | 2/6      | 1/6  | .    | .          | 1/6  |
|                             |                | 100%         | 50%                     | 83%  | 50%  | 67% | 33%        | 33%      | 17%  | .    | .          | 17%  |
|                             | r <sup>2</sup> | 5/6          | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | .    | .    | 6/6        | 6/6  |
|                             |                | 83%          | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | .    | .    | 100%       | 100% |
| C.A.                        | .              | .            | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | 3/6  | 6/6  | 3/6        |      |
|                             |                | .            | .                       | .    | .    | .   | .          | .        | 50%  | 100% | 50%        |      |

A Tabela 4.33 mostra os modelos gerais para o tipo (m) e teor (m), evidenciando que as misturas binárias de CCA e CV e ternárias de CCA-CV foram as que apresentaram maior significância, em razão de terem valores de  $F_{cal}$  mais elevados. O filler calcáreo, apesar de ser significativo nas duas propriedades, apresentou valores de  $F_{cal}$  menores. De todas as misturas, as ternárias de CCA-CV foram as que mostraram maior significância e importância, pois em todas as análises foram as que tiveram valores de  $F_{cal}$  maior. Esse fato estatístico mostrou que as misturas ternárias são as que apresentaram maior aderência com os valores das que se traduz por pasta cimentícia mais homogênea e textura mais fina (Isaia, 1995).

O teor de 25% foi mais significativo para a água combinada enquanto que os teores mais elevados, 50 e 70% foram para o CH. O teor mais baixo para AC traduz o que foi dito anteriormente, que esta variável depende menos da adição mineral que formam C-S-H secundário, e mais do teor de cimento (água de hidratação C-S-H primário). Com efeito, os resultados mostraram maior interação estatística para teores baixos, até 25%, do que altos, quando predominaram os silicatos de menor relação C/S.

Tabela 4.33 – Resumo das variáveis dependentes água combinada e hidróxido de cálcio remanescente para todos os projetos em estudo com tipo e teor de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação do tipo e teor de adição.

| VARIÁVEIS DA MICROESTRUTUTA |                | Tipo (m) |     |      |      |      |        |       | Teor (m) |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------|----------|-----|------|------|------|--------|-------|----------|------|------|------|------|
|                             |                | CCA      | CV  | SA   | F    | CV-E | CCA-CV | CV-SA | 12,5%    | 25%  | 50%  | 70%  | 90%  |
| AC                          | p              | 1/1      | 1/1 | .    | 1/1  | .    | 1/1    | .     | .        | 1/1  | 1/1  | .    | .    |
|                             | r <sup>2</sup> | 1/1      | 1/1 | .    | 1/1  | .    | 1/1    | .     | .        | 1/1  | .    | .    | .    |
| CH                          | p              | 1/2      | 2/3 | .    | 1/1  | .    | 3/3    | .     | 1/1      | 2/2  | 5/5  | 3/3  | .    |
|                             | r <sup>2</sup> | 2/2      | 2/3 | 1/1  | 1/1  | 1/1  | 3/3    | 1/1   | 1/1      | .    | 5/5  | 3/3  | 1/1  |
| Total                       |                | 2/3      | 3/4 | .    | 2/2  | .    | 4/4    | .     | 1/2      | 3/3  | 6/6  | 3/3  | .    |
|                             | p              | 67%      | 75% | .    | 100% | .    | 100%   | .     | 50%      | 100% | 100% | 100% | .    |
|                             | r <sup>2</sup> | 3/3      | 3/4 | 1/1  | 2/2  | 1/1  | 4/4    | 1/1   | 1/2      | 1/3  | 5/6  | 3/3  | 1/1  |
|                             |                | 100%     | 75% | 100% | 100% | 100% | 100%   | 100%  | 50%      | 33%  | 83%  | 100% | 100% |

A predominância dos teores de 50 e 70% para CH é uma evidência que, estatisticamente, foi detectado valores de  $F_{cal}$  crescentes à medida que aumentou o teor de adição mineral (ver Tabela 4.7), com exceção para o teor de 90%. Esses resultados evidenciaram, que à medida que aumenta o teor de adição na mistura, a microestrutura se torna mais homogênea e com poros cada vez menores, devido ao refinamento, o que se traduz em menor quantidade de imperfeições e, logo, menos dispersão de resultados. Como dito acima, o CH foi a variável dependente que apresentou mais significância entre todas, com relação as 4 variáveis independentes estudadas.

#### 4.4.1.2 Variáveis do ensaio de porosimetria

Conforme foi notado na Tabela 4.34, para as variáveis da porosimetria, os resultados apareceram de forma distinta dos anteriores, onde os modelos gerais possuem fraca significância ( $p > 0,05$ ), em sua maioria. Apenas as variáveis dependentes, volume total de intrusão de mercúrio (VTI), porosidade total (PT) e diâmetro dos poros ( $d > 50\text{nm}$  e  $50 > d > 10\text{nm}$ ), apresentaram-se com significância forte ( $p < 0,05$ ). Nota-se que as variáveis dependentes VTI e PT estão inter-relacionadas, pois uma é decorrência da outra e essas, por sua vez, com os espaços a serem preenchidos que são os poros de maiores dimensões, acima de 10nm. Logo, são os que estão, em maioria, na sua distribuição.

Observa-se que para o modelo geral do volume total de intrusão de mercúrio e porosidade total houve significância da interação das 4 variáveis independentes analisadas. Embora, individualmente, nenhuma delas tenha se apresentado significativo. Para o diâmetro dos poros ( $d > 50\text{nm}$  e  $50 > d > 10\text{nm}$ ) a variável independente mais significativa, através do  $F_{cal}$ , foi o teor de adição mineral.

Tabela 4.34 – Resumo das variáveis dependentes do ensaio de porosimetria para o projeto em estudo – Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos.

| VARIÁVEIS DA POROSIMETRIA | Modelo Geral   | Variáveis Independentes |      |          |    | Individual |          |      |    | Referência |    |
|---------------------------|----------------|-------------------------|------|----------|----|------------|----------|------|----|------------|----|
|                           |                | Tipo                    | Teor | a/ag     | fc | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag | fc | a/ag       | fc |
| VTI                       | p              | <b>1</b>                | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | .          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | .          | .  |
| ATP                       | p              | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | 1          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
| DMP                       | p              | .                       | .    | .        | .  | .          | 1        | .    | .  | 1          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | .          | .  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | .          | .  |
| PT                        | p              | <b>1</b>                | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | 1          | 1  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | .  | .          | 1  |
| DC                        | p              | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | 1    | 1  | .          | .  |
| d > 50nm                  | p              | <b>1</b>                | .    | <b>1</b> | 1  | 1          | 1        | .    | .  | 1          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
| 50 > d > 10nm             | p              | <b>1</b>                | .    | <b>1</b> | .  | 1          | 1        | .    | .  | .          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 1          | 1  |
| d < 10nm                  | p              | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | .          | .  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | .          | .  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | 1  | 1          | .  |
| Total                     | p              | 4                       | .    | 2        | 1  | 2          | 3        | .    | 3  | 6          | 3  |
|                           | r <sup>2</sup> | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | .  | 6          | 6  |
|                           | C.A.           | .                       | .    | .        | .  | .          | .        | .    | 5  | 4          | 3  |

Entre os 4 modelos significantes, observa-se que o volume total de intrusão de mercúrio e porosidade total são duas variáveis dependentes interligadas e

dependentes entre si, razão pela qual tenham apresentado significância forte frente as demais.

As dimensões dos poros entre 10 e 50nm e acima de 50nm também foram as variáveis dependentes que apresentaram significância, porque também estão interligadas com a PT e VTI, porque, de todos os poros detectados pelo ensaio, somente ficaram de fora os de menor dimensão, isto é, entre 3nm (menor dimensão detectada pelo aparelho) e 10nm, que para os concretos usuais, são os de menor expressão.

Dentre as variáveis independentes que formam o modelo geral, apenas o teor de adição e a resistência à compressão em 2 análises e a relação água/aglomerante em 1, apresentaram uma influente significância. O teor, novamente, está em evidência como a variável independente mais significativa, porque à medida que aumentou o conteúdo de adição na pasta, essa apresentou uma estrutura de poros mais fechada, aumentando as correlações estatísticas entre as variáveis supracitadas.

À medida que foi analisada a influência individual das variáveis independentes, capacitou chegar à conclusão que a resistência à compressão, a relação água/aglomerante e o tipo de adição, são as que mais influenciaram nas variáveis da porosimetria.

As variáveis da porosimetria são mais dependentes da relação água/aglomerante e da resistência à compressão nas misturas com adições minerais, mesmo que essa no concreto de referência possua o mesmo índice de influência, pois apresenta maior quantidade de modelos significativos.

Os modelos de regressão lineares simples para as variáveis do ensaio de porosimetria apresentaram coeficiente de determinação muito forte somente nas misturas do concreto de referência, exceto para a variável dependente  $d < 10\text{nm}$  que se apresentou fraca.

A Tabela 4.35 mostra a influência das adições minerais no concreto, do tipo e teor de adição, onde a mistura que mais influenciou nas respostas das análises das variáveis dependentes da porosimetria foi o F em 5 e a CV em 4 e o teor de adição que mais se sobressaiu foi 25% em 6 análises e 50% em 3.

Entretanto, a partir dos valores de  $F_{cal}$ , observa-se que a mistura ternária CCA-CV e o teor de 25% foram o tipo e teor, respectivamente, que mais influenciaram no volume total de intrusão e da porosidade total. Esses dados estão

coerentes com os de CH analisados anteriormente, pois à medida que o hidróxido de cálcio é consumido nas reações pozolânicas, a estrutura dos poros se torna mais fina, principalmente nas misturas ternárias.

Contudo, na análise dos resultados da porosimetria não é observado o mesmo comportamento quanto ao teor de adição, os quais, neste caso, foram mais significativos para os teores intermediários, 25%, quando se compara com os resultados obtidos para as variáveis da durabilidade. Nesse caso, esse resultado alinhou-se mais com o da água combinada do que com o de hidróxido de cálcio, analisado anteriormente.

Tabela 4.35 – Resumo das variáveis dependentes do ensaio de porosimetria para o projeto em estudo – Análise de variância e coeficiente de determinação do tipo e teor de adição.

| Porosimetria<br>P 1POZ |                | Tipo (m) |    |          |          | Teor (m) |          |     |
|------------------------|----------------|----------|----|----------|----------|----------|----------|-----|
|                        |                | CCA      | CV | F        | CCA-CV   | 12,5%    | 25%      | 50% |
| VTI                    | p              | 1        | 1  | .        | <b>1</b> | 1        | <b>1</b> | 1   |
|                        | r <sup>2</sup> | 1        | 1  | .        | 1        | 1        | 1        | 1   |
| ATP                    | p              | .        | .  | .        | .        | .        | .        | .   |
|                        | r <sup>2</sup> | .        | 1  | .        | 1        | .        | .        | .   |
| DMP                    | p              | .        | .  | <b>1</b> | .        | .        | <b>1</b> | .   |
|                        | r <sup>2</sup> | .        | .  | 1        | .        | .        | .        | .   |
| PT                     | p              | 1        | .  | .        | <b>1</b> | .        | <b>1</b> | 1   |
|                        | r <sup>2</sup> | 1        | .  | .        | 1        | 1        | 1        | 1   |
| DC                     | p              | .        | 1  | 1        | .        | 1        | 1        | .   |
|                        | r <sup>2</sup> | .        | 1  | 1        | 1        | 1        | 1        | .   |
| d>50nm                 | p              | .        | 1  | <b>1</b> | .        | .        | <b>1</b> | 1   |
|                        | r <sup>2</sup> | .        | 1  | 1        | .        | .        | 1        | 1   |
| 50>d>10nm              | p              | .        | 1  | 1        | .        | .        | <b>1</b> | .   |
|                        | r <sup>2</sup> | .        | 1  | 1        | 1        | .        | .        | .   |
| d<10nm                 | p              | .        | .  | <b>1</b> | .        | .        | .        | .   |
|                        | r <sup>2</sup> | 1        | .  | 1        | 1        | .        | .        | .   |
| Total                  | p              | 2        | 4  | 5        | 2        | 2        | 6        | 3   |
|                        | r <sup>2</sup> | 3        | 5  | 5        | 6        | 3        | 4        | 3   |

#### 4.4.2 Análise das variáveis dependentes da durabilidade

Quando analisados os modelos e as variáveis independentes que influenciaram nas variáveis dependentes da durabilidade, pode-se observar na Tabela 4.36 esses resultados por incidência de significância e coeficiente de determinação, onde se pode inferir as seguintes observações:

I) Quanto ao modelo geral de regressão linear múltipla

a) o coeficiente de carbonatação e a absorção de água tiveram como variáveis independentes influentes mais significativas as 4 estudadas, isto é, tipo e teor de adição, relação a/ag e resistência à compressão;

Tabela 4.36 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo, com as análises individuais das variáveis independentes – Análise de variância, coeficiente de determinação e angular dos modelos.

| VARIÁVEIS DA DURABILIDADE |                | Modelo Geral | Variáveis Independentes |       |      |      | Individual |          |       |       | Referência |       |
|---------------------------|----------------|--------------|-------------------------|-------|------|------|------------|----------|-------|-------|------------|-------|
|                           |                |              | Tipo                    | Teor  | a/ag | fc   | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag       | fc    |
| KCO <sub>2</sub>          | p              | 8/8          | 3/8                     | 7/8   | 4/8  | 2/8  | .          | 4/8      | 8/8   | 8/8   | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 7/8          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 2/8   | 3/8   | 8/8        | 8/8   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 4/8   | 4/8   | 4/8        | 4/8   |
| D H <sub>2</sub> O        | p              | 1/1          | .                       | .     | 1/1  | .    | .          | .        | 1/1   | 1/1   | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 1/1          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 1/1   | 1/1   | 1/1        | 1/1   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | .     | .     | 1/1        | 1/1   |
| A H <sub>2</sub> O        | p              | 5/6          | 2/6                     | 3/6   | 2/6  | 2/6  | .          | .        | 6/6   | 6/6   | 3/6        | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 2/6          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 2/6   | .     | 6/6        | 6/6   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 3/6   | 3/6   | 3/6        | 3/6   |
| P O <sub>2</sub>          | p              | 3/3          | .                       | 1/3   | .    | .    | 3/3        | 3/3      | .     | 1/3   | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 1/3          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | .     | .     | 3/3        | .     |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 2/3   | 2/3   | 1/3        | 1/3   |
| P Cl-                     | p              | 8/8          | 6/8                     | 7/8   | .    | 4/8  | 2/8        | 4/8      | 3/8   | 1/8   | 6/8        | 3/8   |
|                           | r <sup>2</sup> | 6/8          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | .     | .     | 8/8        | 8/8   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 2/8   | 1/8   | 6/8        | 7/8   |
| T Cl-                     | p              | 4/4          | 2/4                     | 3/4   | .    | 1/4  | 1/4        | 1/4      | 3/4   | 3/4   | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 2/4          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | .     | .     | 4/4        | 4/4   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 3/4   | 2/4   | 1/4        | 2/4   |
| Cl-/OH-                   | p              | 5/7          | 3/7                     | 2/7   | 2/7  | .    | 2/7        | .        | 6/7   | 4/7   | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 1/7          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | .     | .     | 7/7        | 7/7   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 5/7   | 5/7   | 2/7        | 2/7   |
| Total                     | p              | 34/37        | 16/37                   | 23/37 | 9/37 | 9/37 | 8/37       | 12/37    | 27/37 | 24/37 | 9/37       | .     |
|                           |                | 92%          | 43%                     | 62%   | 24%  | 24%  | 22%        | 32%      | 73%   | 65%   | 24%        | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 20/37        | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 5/37  | 4/37  | 37/37      | 34/37 |
|                           |                | 54%          | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 13%   | 11%   | 100%       | 92%   |
|                           | C.A            | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 19/37 | 17/37 | 18/37      | 20/37 |
|                           |                | .            | .                       | .     | .    | .    | .          | .        | 51%   | 46%   | 49%        | 54%   |

b) a penetração de cloretos e teor de cloretos retidos totais tiveram como variáveis independentes mais significantes o teor e o tipo de adição e a resistência à compressão, não sendo significativa a relação a/ag;



c) a relação  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$  teve como variáveis independentes significativas o tipo e teor de adição e a relação a/ag, não sendo significativa a resistência à compressão;

d) a difusão à água teve como variável independente significativa somente a relação a/ag e a difusão de oxigênio, o teor de adição mineral;

e) o modelo geral de regressão linear múltipla se mostrou significativo em 92% das análises realizadas, sendo que a principal variável independente com mais influência foi o teor de adição mineral, em 62% dessas ( $5/7$  dos maiores  $F_{cal}$ ). A segunda variável independente mais importante foi o tipo de adição, em 43% das análises efetuadas ( $1/7$  dos maiores  $F_{cal}$ ) e, por último, a relação a/ag em 24% das análises ( $1/7$  dos maiores  $F_{cal}$ ). Apesar da resistência à compressão ter aparecido como significativa em 24% das referidas análises, apresentou valores de  $F_{cal}$  menores que das demais variáveis independentes;

f) apesar de 92% das análises efetuadas serem significativas, somente 54% delas tiveram coeficiente de determinação forte e muito forte, evidenciando que é necessário analisar estatisticamente um maior número de repetições para diminuir as dispersões dos dados.

À primeira vista, não parece lógico que a resistência à compressão não esteja incluída entre as variáveis independentes mais importantes que afetam a durabilidade, visto que não apresentou nenhum  $F_{cal}$  que sobrepujasse os demais. Com efeito, isto se deve ao fato de que para mesma resistência, podem ocorrer variações amplas para determinada propriedade, principalmente pela modificação da interação permeabilidade x porosidade que as adições minerais, em especial as pozolanas, conferem ao concreto (Gastaldini et al., 1996). Assim, para uma mesma resistência, quando se utilizam diferentes tipos e teores de adições minerais, as relações a/ag podem variar bastante, porque cada adição e teor confere microestruturas com distintas distribuições de poros. Desse modo, é coerente que a resistência à compressão apresente maior dispersão de resultados, para uma dada variável, em relação a a/ag e ao tipo e teor de adição mineral.

## II) Quanto aos modelos de regressão linear simples

a) as regressões lineares simples revelam que a variável independente individual mais significativa foi a relação a/ag em 73% das análises, seguidas da resistência à compressão, com 65%. O teor com 32% e o tipo com 22% foram as variáveis independentes menos influentes;

b) os coeficientes de determinação, também, não acompanharam a significância das análises ANOVA, pois os coeficientes de determinação foram somente forte e muito forte em 13% das análises para a variável independente a/ag e 11% para resistência à compressão. Não foram encontradas correlações fortes para tipo e teor de adição mineral;

c) para os concretos de referência foram encontradas significâncias fortes somente para a relação a/ag em 24% das análises e nenhuma para a resistência à compressão. Em compensação, os coeficientes de determinação foram forte e muito forte em 100% para a relação a/ag e 92% para a resistência à compressão, evidenciando as distorções estatísticas comentadas no item 4.2;

d) a análise dos coeficientes angulares apresentou significância de 51% para a relação água/aglomerante e 46% para a resistência à compressão, nas misturas com adições minerais e, respectivamente, 49% e 54% para os concretos de referência. Esses números revelaram que não existem evidências de que os concretos com adição mineral sejam mais ou menos influenciados pela relação a/ag ou resistência à compressão do que os de referência, pois os valores encontrados são muito próximos.

A Tabela 4.37 apresenta os resultados dos modelos das regressões lineares múltiplas relativas ao tipo de adição mineral, tendo como variáveis independentes o teor de adição, relação a/ag e resistência à compressão. Pode-se observar que:

a) tanto as misturas binárias quanto ternárias apresentaram alta percentagem de significância nas análises realizadas. Entre as binárias, o filler calcáreo e a cinza volante foram significantes em 100 e 58%, respectivamente, das análises, e apresentaram maiores valores de  $F_{cal}$  em 2 variáveis, seguida da escória de alto forno e cinza de casca de arroz com 73 e 63%, respectivamente, de significância em relação ao total das análises, com  $F_{cal}$  mais elevados em uma variável, cada;

b) as misturas ternárias mostraram valores semelhantes, sendo as mais significativas as CV-E com  $F_{cal}$  mais elevados em 3 variáveis, E-CCA e CCA-CV com  $F_{cal}$  em 2. Observa-se que as misturas ternárias que apresentaram maior significância dependem da variável observada e, por consequência, do mecanismo atuante sobre ela;

c) a análise de  $F_{cal}$  revelou a tendência em apresentar valores mais altos para as misturas ternárias do que as binárias, evidenciando que o efeito sinérgico de

duas adições minerais torna os resultados estatisticamente mais significantes, conforme já descrito anteriormente;

d) os coeficientes de determinação dos modelos lineares múltiplos apresentaram valores forte e muito forte acima de  $\frac{3}{4}$  das análises realizadas, sendo que para quase todas as misturas binárias e ternárias representaram a totalidade (100%) das análises efetuadas. Esse comportamento mostrou que, ao se realizar análise mais restrita, as variáveis independentes teor, relação a/ag e resistência à compressão, em relação ao modelo geral com 4 variáveis independentes, as regressões lineares demonstraram menores dispersões, o que torna os modelos mais representativos.

Tabela 4.37 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo com a variável independente tipo de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação dos modelos.

| VARIÁVEIS DA DURABILIDADE |                | Tipo (m)   |            |      |            |            |      |      |      |            |            |            |       |
|---------------------------|----------------|------------|------------|------|------------|------------|------|------|------|------------|------------|------------|-------|
|                           |                | CCA        | CV         | SA   | F          | E          | E300 | E500 | E700 | CV-E       | E-CCA      | CCA-CV     | CV-SA |
| KCO <sub>2</sub>          | p              | <b>3/5</b> | 2/4        | .    | 1/1        | 2/3        | .    | .    | .    | 1/1        | 1/2        | <b>2/3</b> | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 5/5        | 4/4        | 1/1  | 1/1        | 2/3        | .    | .    | .    | 1/1        | 2/2        | 3/3        | 1/1   |
| D H <sub>2</sub> O        | p              | 1/1        | 1/1        | .    | <b>1/1</b> | .          | .    | .    | .    | .          | .          | <b>1/1</b> | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 1/1        | 1/1        | .    | 1/1        | .          | .    | .    | .    | .          | .          | 1/1        | .     |
| A H <sub>2</sub> O        | p              | 2/3        | <b>1/2</b> | .    | .          | 2/2        | .    | .    | .    | <b>1/1</b> | 1/2        | 1/1        | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 2/3        | 2/2        | .    | .          | 2/2        | .    | .    | .    | 1/1        | 1/2        | 1/1        | .     |
| P O <sub>2</sub>          | p              | .          | .          | .    | .          | .          | .    | .    | .    | <b>1/1</b> | .          | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | .          | .          | .    | .          | .          | .    | .    | .    | 1/1        | .          | 1/1        | .     |
| P Cl-                     | p              | 3/4        | <b>3/3</b> | .    | 1/1        | 3/3        | .    | .    | .    | <b>1/1</b> | 1/2        | 2/2        | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 3/4        | 3/3        | .    | 1/1        | 3/3        | 1/1  | 1/1  | 1/1  | 1/1        | 2/2        | 2/2        | .     |
| T Cl-                     | p              | 2/3        | .          | .    | <b>1/1</b> | .          | .    | .    | .    | .          | <b>1/2</b> | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 2/3        | 1/2        | .    | 1/1        | .          | .    | .    | .    | .          | 2/2        | 1/1        | .     |
| Cl-/OH-                   | p              | 1/3        | .          | .    | .          | <b>1/3</b> | .    | .    | .    | .          | <b>1/2</b> | .          | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 1/3        | .          | .    | .          | 1/3        | 1/1  | 1/1  | 1/1  | .          | 1/2        | 1/1        | .     |
| Total                     | p              | 12/19      | 7/12       | .    | 4/4        | 8/11       | .    | .    | .    | 4/4        | 5/10       | 6/10       | .     |
|                           |                | 63%        | 58%        | .    | 100%       | 73%        | .    | .    | .    | 100%       | 50%        | 60%        | .     |
|                           | r <sup>2</sup> | 14/19      | 11/12      | 1/1  | 4/4        | 8/11       | 2/2  | 2/2  | 2/2  | 4/4        | 8/10       | 10/10      | 1/1   |
|                           |                | 74%        | 92%        | 100% | 100%       | 73%        | 100% | 100% | 100% | 100%       | 80%        | 100%       | 100%  |

A Tabela 4.38 apresentou os resultados dos modelos das regressões lineares múltiplas relativas ao teor de adição mineral, tendo como variáveis independentes o tipo de adição, relação a/ag e resistência à compressão. Através da tabela pode-se observar que:

a) foram significantes a maioria das análises realizadas, grande parte com 100% de participação, independentemente do teor de adição empregado, desde 12,5% até 90% de substituição de cimento;

b) da mesma maneira se comportaram os coeficientes de determinação que se apresentaram forte e muito forte acima de  $\frac{3}{4}$  de todas as análises realizadas e, para grande parte delas, em 100%, reproduzindo o que foi observado no item anterior;

Tabela 4.38 – Resumo das variáveis dependentes da durabilidade para todos os projetos em estudo com a variável independente teor de adição - Análise de variância, coeficiente de determinação dos modelos.

| VARIÁVEIS DA DURABILIDADE        |                | Teor (m)   |            |      |            |            |            |            |
|----------------------------------|----------------|------------|------------|------|------------|------------|------------|------------|
|                                  |                | 12,5%      | 20%        | 25%  | 35%        | 50%        | 70%        | 90%        |
| KCO <sub>2</sub>                 | p              | 1/1        | <b>3/3</b> | 2/2  | .          | 5/5        | <b>6/6</b> | .          |
|                                  | r <sup>2</sup> | 1/1        | 3/3        | 2/2  | .          | 5/5        | 6/6        | 1/1        |
| D H <sub>2</sub> O               | p              | <b>1/1</b> | .          | 1/1  | .          | 1/1        | .          | .          |
|                                  | r <sup>2</sup> | 1/1        | .          | 1/1  | .          | 1/1        | .          | .          |
| A H <sub>2</sub> O               | p              | .          | <b>3/3</b> | .    | .          | 2/3        | <b>5/6</b> | 1/1        |
|                                  | r <sup>2</sup> | .          | 3/3        | .    | .          | 3/3        | 6/6        | 1/1        |
| P O <sub>2</sub>                 | p              | .          | .          | .    | .          | .          | 1/3        | <b>1/1</b> |
|                                  | r <sup>2</sup> | .          | .          | .    | .          | 2/3        | 2/3        | 1/1        |
| P Cl <sup>-</sup>                | p              | 1/1        | 3/3        | 1/1  | 1/1        | 3/4        | <b>7/7</b> | <b>1/1</b> |
|                                  | r <sup>2</sup> | 1/1        | 3/3        | 1/1  | 1/1        | 4/4        | 7/7        | 1/1        |
| T Cl <sup>-</sup>                | p              | .          | 2/3        | 1/1  | .          | <b>1/1</b> | <b>2/3</b> | .          |
|                                  | r <sup>2</sup> | 1/1        | 1/3        | 1/1  | .          | 1/1        | 1/3        | .          |
| Cl <sup>-</sup> /OH <sup>-</sup> | p              | .          | 2/3        | .    | <b>1/1</b> | <b>3/3</b> | 2/7        | .          |
|                                  | r <sup>2</sup> | .          | 2/3        | .    | 1/1        | 3/3        | 5/7        | 1/1        |
| Total                            | p              | 3/4        | 13/15      | 5/5  | 2/2        | 15/20      | 23/32      | 3/5        |
|                                  |                | 75%        | 87%        | 100% | 100%       | 75%        | 72%        | 60%        |
|                                  | r <sup>2</sup> | 4/4        | 12/15      | 5/5  | 2/2        | 19/20      | 27/32      | 5/5        |
|                                  |                | 100%       | 80%        | 100% | 100%       | 95%        | 84%        | 100%       |

c) os valores de  $F_{cal}$  ressaltados em negrito revelam aumento da significância dos modelos à medida que aumenta o teor de adição mineral na mistura. De modo geral, existe evidência de que os teores acima de 50% são mais significantes do que os de menor conteúdo. As variáveis com 70% de adição apresentaram significância em 72% das análises, assim como os maiores valores para  $F_{cal}$  em relação às demais misturas (4). Esse comportamento reforça o conceito de que as variáveis da durabilidade são melhoradas quando se aumenta o teor de adição mineral,

especialmente em misturas ternárias, conforme constatado por Isaia e Gastaldini *et al.*, 2002;

d) igualmente, como ocorreu com o modelo geral do tipo de adição, observado na Tabela 4.37, a comparação dos resultados do modelo de teor com o do modelo geral da Tabela 4.36. Mostra, quando são consideradas as quatro variáveis independentes de análise, tipo e teor de adição, relação a/ag e resistência à compressão, a percentagem de análises significantes são menores. Assim como, os coeficientes de determinação forte e muito forte também decrescem, em relação ao modelo geral com somente 3 variáveis independentes: tipo de adição, relação a/ag e resistência à compressão.

#### **4.5 Resumo das variáveis independentes mais significativas**

Dos resultados obtidos, optou-se em realizar uma síntese das variáveis independentes mais significativas para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade do concreto. Os dados estão reunidos nas Tabelas 4.39, 4.40 e 4.41, onde se utilizou a letra 'x' para demonstrar a influência da variável independente de maior significância para cada variável dependente, sendo o 'x' (em negrito) o de maior expressividade para os modelos analisados.

Foi visto nas Tabelas 4.32 e 4.36 que os modelos gerais, a partir da análise por regressão linear múltipla, foram fortemente significativos, ou seja,  $p > 95\%$ , em 100% das análises da microestrutura, e 92% das da durabilidade. Esses percentuais evidenciaram que os modelos são significativos para representar as variações das variáveis dependentes estudadas com as 4 variáveis independentes: tipo e teor de adição, relação água/aglomerante e resistência à compressão. Entretanto, essas mesmas tabelas mostram que 83% das análises da microestrutura e 54% da durabilidade apresentaram coeficiente de determinação forte e muito forte para o modelo geral, demonstrando que existe uma dicotomia entre o grau de significância ( $p$ ) e os coeficientes de determinação ( $r^2$ ), conforme abordado no item 4.2, devido à falta de repetições dos dados individuais.

A Tabela 4.39 apresenta as variáveis independentes que mais influenciaram nos modelos das variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade, onde prevaleceu o teor de adição em todas as variáveis, com exceção da AC, D H<sub>2</sub>O

(a/ag) e relação  $Cl^-/OH^-$  (tipo). Esse comportamento mostra que, à medida que aumenta a quantidade de adição mineral na pasta cimentícia, as dispersões dos resultados diminuem e influem significativamente nas propriedades da microestrutura e da durabilidade, como mostram resultados de pesquisa divulgados pela literatura. Em segundo lugar, aparecem em conjunto, o tipo da adição e a relação a/ag, mostrando que a natureza da adição mineral, assim como o teor de poros representado pela relação água/aglomerante, são duas variáveis independentes que estão estreitamente relacionadas com o desempenho das variáveis estruturais e da durabilidade.

Tabela 4.39 – Resumo das variáveis independentes mais significativas do modelo geral para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.

|                       |                    | Modelo Geral            |      |                    |    |   |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|------|--------------------|----|---|
|                       |                    | Variáveis Independentes |      |                    |    |   |
| Variáveis Dependentes |                    | Tipo                    | Teor | a/ag               | fc |   |
| Microestrutura        | AC                 |                         |      | x                  | x  |   |
|                       | CH                 | x                       | x    |                    |    |   |
|                       | Porosimetria       | VTI                     |      | não significativas |    |   |
|                       |                    | PT                      |      | não significativas |    |   |
|                       |                    | d>50nm                  |      | x                  | x  |   |
|                       |                    | 10>d>50nm               |      | x                  |    | x |
|                       | Geral              |                         | x    | x                  |    |   |
| Durabilidade          | KCO <sub>2</sub>   |                         | x    | x                  |    |   |
|                       | D H <sub>2</sub> O |                         |      | x                  |    |   |
|                       | A H <sub>2</sub> O | x                       | x    |                    |    |   |
|                       | P O <sub>2</sub>   |                         | x    |                    |    |   |
|                       | P Cl-              | x                       | x    |                    |    |   |
|                       | T Cl-              | x                       | x    |                    |    |   |
|                       | Cl-/OH-            | x                       | x    |                    |    |   |
|                       | Geral              | x                       | x    | x                  |    |   |

A Tabela 4.40 mostra o resumo do modelo tipo de adição mineral mais significativo, retirados das Tabelas 4.33 e 4.37. Nessas, observa-se que a cinza de casca de arroz e cinza volante foram as adições que mais se destacaram em 67 e 75% das análises da microestrutura e de 63 e 58% da durabilidade. O filler calcáreo, por ser inerte, apresentou significância em 100% para os dois tipos de variáveis. Nas misturas ternárias se destacaram a CCA-CV em 100% das análises da microestrutura, a CV-E, também com 100% das variáveis dependentes da

durabilidade e a E-CCA em 50%. Apesar de todos esses tipos de adições terem apresentado significância forte, notou-se aumento do valor de  $F_{cal}$  nas misturas ternárias em relação às binárias, sugerindo que essas, por serem complementares e sinérgicas, propiciam menor dispersão dos resultados que as misturas binárias.

Os coeficientes de determinação mostrados pelas Tabelas 4.33 e 4.34 evidenciam forte correlação entre os tipos de adição mineral com as variáveis analisadas, ou seja,  $\frac{5}{6}$  para as da microestrutura e  $\frac{7}{11}$  para as da durabilidade, demonstrando similaridade com os valores de p encontrados.

Tabela 4.40 – Resumo do modelo tipo de adição mineral mais significativo para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.

| Variáveis Dependentes |                    | Modelo: Tipo de Adição Mineral |    |   |   |                    |      |       |
|-----------------------|--------------------|--------------------------------|----|---|---|--------------------|------|-------|
|                       |                    | Misturas Binárias              |    |   |   | Misturas Ternárias |      |       |
|                       |                    | CCA                            | CV | F | E | CCA-CV             | CV-E | E-CCA |
| Microestrutura        | AC                 | x                              |    | x |   | x                  |      |       |
|                       | CH                 | x                              | x  |   |   | x                  |      |       |
|                       | VTI                | x                              | x  |   |   | x                  |      |       |
|                       | DMP                |                                |    | x |   |                    |      |       |
|                       | PT                 | x                              |    |   |   | x                  |      |       |
|                       | DC                 |                                | x  | x |   |                    |      |       |
|                       | d>50nm             |                                | x  | x |   |                    |      |       |
|                       | 10>d>50nm          |                                | x  | x |   |                    |      |       |
|                       | Geral              |                                | x  | x |   | x                  |      |       |
| Durabilidade          | KCO <sub>2</sub>   | x                              | x  |   |   | x                  |      |       |
|                       | D H <sub>2</sub> O |                                | x  | x |   | x                  |      |       |
|                       | A H <sub>2</sub> O | x                              | x  |   |   |                    | x    |       |
|                       | P O <sub>2</sub>   |                                |    |   |   |                    | x    |       |
|                       | P Cl-              | x                              | x  |   |   |                    | x    |       |
|                       | T Cl-              | x                              |    | x |   |                    |      | x     |
|                       | Cl-/OH-            | x                              |    |   | x |                    |      | x     |
|                       | Geral              | x                              | x  |   |   | x                  | x    |       |

A Tabela 4.41 apresenta o resumo do modelo tipo de adição mineral mais significativo, retirados das Tabelas 4.33 e 4.38. Para a microestrutura prevaleceu o teor de 25% como o mais significativo, e iguais ou maiores que 70% para a durabilidade, mostrando, que para a primeira, as dispersões dos resultados são menores com teores mais baixos de adição mineral e, para as variáveis ligadas à segunda, prevalecem os teores mais elevados. A análise dos  $F_{cal}$  mostra acréscimo do valor calculado, à medida que aumenta o teor na mistura, quando se analisa as

variáveis dependentes da durabilidade, mostrando que as dispersões diminuem devido a maior homogeneidade e textura mais fina das pastas com o aumento do teor de material cimentício.

As Tabelas 4.33 e 4.38 mostram que os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) são forte e muito forte para a grande maioria das análises, embora em níveis um pouco inferiores do que para os modelos gerais do tipo, ou seja,  $\frac{1}{4}$  em 100% das análises da microestrutura e  $\frac{3}{7}$  também em 100% das de durabilidade. Esses números indicam que os teores introduzem maior dispersão nos resultados do que os tipos de adição mineral. Acredita-se ter sido essa a razão da falta de correspondência entre os valores de  $p$  e  $r^2$  nos modelos gerais, quando observadas as quatro variáveis independentes e quando consideradas somente 3, separadamente, houve melhor correspondência entre esses dois parâmetros.

Tabela 4.41 – Resumo do modelo teor de adição mineral mais significativo para as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade para todos os projetos em estudo.

| Variáveis Dependentes |           | Modelo: Teor de Adição Mineral |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       |           | 12,5%                          | 20% | 25% | 35% | 50% | 70% | 90% |
| Microestrutura        | AC        |                                |     | x   |     |     |     |     |
|                       | CH        |                                |     |     |     | x   | x   |     |
|                       | VTI       |                                |     | x   |     | x   |     |     |
|                       | DMP       |                                |     | x   |     |     |     |     |
|                       | PT        |                                |     | x   |     | x   |     |     |
|                       | DC        | x                              |     | x   |     | x   |     |     |
|                       | d>50nm    |                                |     | x   |     |     |     |     |
|                       | 10>d>50nm |                                |     | x   |     |     |     |     |
| Geral                 |           |                                |     | x   |     | x   |     |     |
| Durabilidade          | KCO2      |                                | x   |     |     |     | x   |     |
|                       | D H2O     | x                              |     |     |     |     |     |     |
|                       | A H2O     |                                | x   |     |     |     | x   |     |
|                       | P O2      |                                |     |     |     |     | x   | x   |
|                       | P Cl-     |                                |     |     |     |     | x   | x   |
|                       | T Cl-     |                                | x   |     |     | x   |     |     |
|                       | Cl-/OH-   |                                |     |     | x   | x   |     |     |
| Geral                 |           |                                | x   |     |     |     | x   |     |



## CAPÍTULO V

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Além de revisão bibliográfica, este trabalho procurou encontrar respostas aos questionamentos propostos nos objetivos, apresentando os resultados dos estudos estatísticos de cinco programas experimentais que envolveram diversos tipos e teores de adições em substituição ao cimento no concreto.

Nesses concretos, procurou-se englobar as variáveis independentes (relação água/aglomerante, resistência à compressão, tipo e teor de adição mineral) que influenciaram nas variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade. Foi realizado estudos estatísticos de análise de variância e regressão linear simples e múltipla, que permitiram apresentar as conclusões enumeradas abaixo.

Tendo em vista que, dada às características dos dados disponíveis para estudo dos resultados de cada projeto, isto é, eram decorrentes de valores médios e não individuais (repetições), foram observadas eventuais distorções entre o nível de significância e o coeficiente de determinação, por ocasião das análises de variância e aplicação dos modelos de regressão linear simples e múltipla.

Grande parte dos modelos gerais de regressão linear múltipla apresentou significância e coeficiente de determinação forte e muito forte. Para os modelos individuais de regressão linear simples obteve-se significância forte em menos de  $1/3$  das análises para o tipo e teor, e cerca de  $2/3$  para a relação a/ag e resistência à compressão das variáveis dependentes da durabilidade. Praticamente, todos os modelos individuais apresentaram coeficientes de determinação variando de médio a fraco. Esses resultados mostraram que existe significância mais forte e menor dispersão nos modelos quando realizada a regressão múltipla.

## 5.1 Com relação às variáveis dependentes da microestrutura

### 5.1.1 Teor de água combinada (AC)

A relação água/aglomerante foi a variável independente preponderante na análise do modelo geral e individual, seguida da resistência à compressão e do tipo de adição mineral.

Fazendo uma análise global destes resultados, as misturas binárias com CCA e as ternárias com CCA-CV e o teor de 25% foram as que apresentaram melhores resultados de significância e coeficiente de determinação.

### 5.1.2 Teor de hidróxido de cálcio remanescente (CH)

Para todas as misturas analisadas, no modelo geral e individual, as variáveis independentes que se mostraram com forte influência foram: o teor, o tipo de adição e a resistência à compressão, sendo esse o único que apresentou este comportamento em todas as variáveis estudadas.

Em virtude das análises, do modelo para tipo (m) e teor (m) de adição foi observado que as misturas binárias com CCA e CV, no teor de 50% e a ternária CCA-CV, no teor de 70% possuem maior significância para o teor de hidróxido de cálcio, com relação ao valor do  $F_{cal}$ .

### 5.1.3 Variáveis do ensaio de porosimetria

Os modelos gerais obtidos através da regressão linear múltipla foram significativos, para as variáveis dependentes, em ordenação decrescente de  $F_{cal}$ , volume total de intrusão de mercúrio (VTI),  $d > 50\text{nm}$ , porosidade total (PT) e diâmetro dos poros  $50 > d > 10\text{nm}$ . As demais variáveis dependentes possuíram significância que variou de fraca à média.

As análises estatísticas do modelo geral demonstraram que o teor de adição e a resistência à compressão foram as variáveis independentes que mais influenciaram nas variáveis dependentes do ensaio de porosimetria. Já nos modelos de regressões individuais, a resistência à compressão, a relação água/aglomerante

e o tipo de adição foram, nessa ordem, as variáveis independentes que mais influenciaram.

Na análise dos modelos para tipo (m) e teor (m) de adição foi constatado que as misturas binárias com F em 5 análises e CV em 4, e a ternária com CCA-CV foram as que possuíram maior influência sobre as variáveis dependentes do ensaio de porosimetria. O teor de adição de 25% apresentou maior significância nessas variáveis.

Os valores indicados mostram que as misturas ternárias (CCA-CV) foram as que apresentaram os maiores valores para  $F_{cal}$ , mostrando que essas influem em maior grau que as misturas binárias, pois apresentaram valores de  $F_{cal}$  mais baixos.

## 5.2 Com relação às variáveis dependentes da durabilidade

### 5.2.1 Coeficiente de carbonatação ( $KCO_2$ )

Os modelos gerais para as misturas da variável dependente coeficiente de carbonatação apresentaram-se 100% significativos ( $p < 0,05$ ), com 87,5% deles com coeficiente de determinação forte e muito forte.

A partir das análises estatísticas realizadas, constatou-se que há uma distorção entre os resultados obtidos através do modelo geral e individual, pois o primeiro apresentou, como mais significativos, as variáveis independentes com teor de adição em 7 análises e relação água/aglomerante em 4, e o segundo, resistência à compressão e relação a/ag em 8.

Quando analisada a influência do tipo (m) e teor (m) de adição percebeu-se que, para a grande maioria das misturas, os modelos foram significativos e apresentaram coeficiente de determinação que variou entre médio a muito forte. Observando o valor do  $F_{cal}$ , foi possível concluir que as misturas binárias com CCA e CV e as ternárias com CCA-CV e CV-E, nos teores de 20 e 50% são, nessa ordem, as que mostraram melhores resultados estatísticos em relação às outras misturas estudadas.

### 5.2.2 Difusão à água ( $D_{H_2O}$ )

Os modelos geral e individual foram significativos e possuíram forte coeficiente de determinação, onde a variável independente que predominou foi a relação  $a/ag$  e, em segundo plano, a resistência à compressão, corroborando com os mecanismos de difusão à água que são dependentes dos poros em contato com o exterior e a sua interconexão para facilitar o fluxo de água através das camadas mais externas (cobertura).

Quando obtido o modelo de regressão linear múltipla para o tipo (m) e teor (m) de adição, percebeu-se um coeficiente de determinação muito forte e significância forte para todas as misturas. A adição de maior significância, frente à difusão à água, foi a mistura binária com 'F' (filler calcáreo) no teor de 12,5%, uma vez que o valor do  $F_{cal}$  determinou essa predominância.

### 5.2.3 Absorção capilar ( $A_{H_2O}$ )

Observando o valor do  $F_{cal}$  das variáveis independentes que foram estudadas no modelo geral e individual, o teor, a relação água/aglomerante e a resistência à compressão foram as mais significativas na absorção capilar, sendo que para todos os casos as significâncias foram fortes.

Quando analisada a influência do tipo (m) e teor (m) de adições percebeu-se que, para o projeto 2CAL, somente as misturas ternárias possuíram significância, sendo a CV-E e teor de 90% os mais representativos. Já para o projeto 3ATI ocorreu o contrário, pois todas as misturas se apresentaram significativas. As binárias com CCA e CV e teor de 70% foram os mais significativos, devido ao valor do  $F_{cal}$ . Isso evidenciou, neste caso, que a análise individual não foi adequada para avaliar a influência do tipo e teor de adição mineral com as demais variáveis independentes.

Os resultados acima, evidenciaram que a absorção capilar, por ter a característica de depender mais da quantidade e dimensões dos poros em contato com a superfície, apresentou maior grau de dependência da relação água/aglomerante do que da resistência à compressão.

#### 5.2.4 Permeabilidade ao oxigênio ( $P_{O_2}$ )

Analisando as variáveis independentes que compõem os modelos geral e individual, notou-se a predominância do teor seguido do tipo de adição.

Quando analisados os modelos para tipo (m) e teor (m) de adição, percebeu-se um avanço da significância com o acréscimo do teor e que a mistura ternária com CV-E (90%) foi a que possuiu maior significância.

#### 5.2.5 Penetração de cloretos ( $P_{Cl^-}$ )

As variáveis independentes que mais se destacaram após as verificações estatísticas foram o teor e tipo de adição, prevalecendo sua influência sobre os demais.

Analisando através da regressão linear múltipla os efeitos do tipo e teor de adição, pôde ser observado que as misturas com maior significância e coeficiente de determinação foram as ternárias com CCA-CV e CV-E e teores de 70 e 90%, pois se constatou que os valores de  $F_{cal}$  mostraram-se ascendentes com o aumento do teor de adição na mistura.

#### 5.2.6 Teor de cloretos retidos totais ( $T_{Cl^-}$ )

A análise estatística dos resultados dos ensaios do teor de cloretos foi semelhante a da penetração, pois as variáveis independentes que predominaram no modelo geral foram os mesmos, isto é, o teor e o tipo de adição.

Nas análises individuais realizadas por regressão linear simples, as principais variáveis independentes foram a relação água/aglomerante e a resistência à compressão.

A análise dos modelos de regressão para tipo (m) e teor (m) de adição mostrou uma predominância da significância que varia entre média a forte. As misturas binárias com CCA e F e os teores de 20 e 50%, respectivamente, e a mistura ternária E-CCA no teor de 70%, foram as mais significativas.

Estudos realizados comprovaram a existência de correlação estatística entre penetração e retenção de cloretos, uma vez que ambos obtiveram uma forte correlação, o que confirmou os resultados estatísticos encontrados neste estudo.

### 5.2.7 Relação iônica $Cl^-/OH^-$

Através da regressão linear múltipla dos dados foi possível observar que  $5/7$  das misturas, do modelo geral, apresentaram-se significativas. As variáveis independentes que mais influenciaram no modelo, foram: o tipo, o teor de adição e a relação água/aglomerante.

Pôde-se observar que a relação água/aglomerante, na análise individual, foi a variável independente que mais preponderou, em 6 análises e também possuiu o valor do  $F_{cal}$  maior para 5 misturas.

As misturas com E e E-CCA apresentaram significância e coeficiente de determinação superior as demais, uma vez que houve a predominância do teor de 50%.

As análises dos modelos teor (m) e tipo (m) evidenciaram que, à medida que aumenta a quantidade de adição mineral nas misturas, incrementam as preponderâncias desta variável independente sobre as relações  $Cl^-/OH^-$ . Esse fato confirmou os resultados anteriores de penetração e retenção de cloretos, visto que a relação iônica é uma consequência direta dos resultados destes.

## 5.3 Integrando os resultados da microestrutura e da durabilidade

Nos estudos detalhados dos parâmetros que influenciaram as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade do concreto, constatou-se que, para as variáveis independentes que integram os modelos gerais, o teor de adição mineral foi o que apresentou maior significância, seguido da relação água/aglomerante, tipo de adição e, por último, resistência à compressão.

A relação água/aglomerante, seguida da resistência à compressão, do teor e do tipo de adição, foi a variável independente que preponderou nas análises através da regressão linear simples.

No concreto de referência foi demonstrada uma significância fraca e coeficiente de determinação forte e muito forte para todas as variáveis estudadas. Essa situação deve-se ao fato deste não possuir adições minerais e a forma como os dados foram avaliados, uma vez que desses foram analisadas as médias ao invés dos dados individuais coletados em laboratório.

Através das análises dos coeficientes angulares não foi possível identificar qual variável independente, relação água/aglomerante ou resistência à compressão, nas misturas com ou sem adições minerais, que impuseram uma maior dependência sobre as variáveis dependentes em estudo, porque não houve uma diferença expressiva entre os resultados.

Com relação ao tipo de adição mineral, pôde-se concluir que as misturas binárias com CCA e CV e as ternárias com CCA-CV para a microestrutura, CV-E para a durabilidade, foram as adições minerais que melhor se comportaram diante das análises estatísticas, pois demonstraram possuir uma significância e coeficiente de determinação superior as demais. O filler calcáreo, pelo efeito físico de sua finura, apresentou significância em 100% das análises para os dois tipos de variáveis.

Os teores de adição que obtiveram melhores resultados estatísticos foram 25% para a microestrutura e 70% para a durabilidade. Desse modo, a análise estatística mostrou a incidência de forte significância e forte e muito forte coeficiente de determinação para teores elevados de substituição de cimento por adições minerais. Notou-se aumento do valor de  $F_{cal}$  nas misturas ternárias em relação às binárias, sugerindo que estas, por serem complementares e sinérgicas, propiciaram menor dispersão dos resultados que as misturas binárias.

Apesar de algumas variáveis independentes não serem significativas nos modelos, a sua interação com os demais proporcionou resultados significativos, indicando a sinergia entre essas variáveis. Afirma-se com isso, que o efeito de uma variável independente exerce sobre a outra, pode levar o modelo em estudo tornar-se significativo.

A partir dos resultados obtidos, através das análises estatísticas, faz-se necessário mencionar que há grande variação nos resultados das análises estatísticas entre as mesmas misturas em função dos ativadores, como os químicos e a cal hidratada, pois o  $F_{cal}$  apresentou-se inferior as misturas sem ativadores, exceto na variável dependente teor de cloretos retidos e relação iônica.

#### **5.4 Sugestões para estudos futuros**

O estabelecimento de análise estatística entre as variáveis influentes para pesquisar a hierarquização entre elas é de muita importância para estudos futuros,

no sentido que possibilita o planejamento prévio dos ensaios com maior conhecimento de causa para efeito de escolha das variáveis mais significativas, que poderão ser objeto futuro de estudo.

Ampliando as conclusões desta pesquisa, sugere-se a análise de variância 'ANOVA', com regressões não linear múltipla para tornar mais precisos os resultados, pois esta análise abrange um maior número de resultados levantados em laboratório.

Acredita-se que um importante estudo complementar a ser investigado é a análise dos grupos através de DUNCAN, para comparar todo e qualquer contraste entre duas ou mais médias de tratamentos.

Assim, uma pesquisa englobando essas ferramentas estatísticas contribuirá para aumentar o conhecimento científico sobre as variáveis dependentes da microestrutura e durabilidade do concreto.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.

ALMEIDA, I. R. **Concretos de Alto Desempenho. A evolução Tecnológica dos Concretos Tradicionais**. In: SEMINÁRIO FLUMINENSE DE ENGENHARIA, 1<sup>o</sup>, 1992, Niterói. Anais... Niterói, 1992.

ALVES, A. S. **Efeitos físicos e químicos de misturas pozolânicas na carbonatação e penetrabilidade à água em concretos de alto desempenho**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento portland de alta resistência inicial**: NBR 5733/80. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico**: NBR 5736/91. Rio de Janeiro, 1991.

CASCUDO, O. **Influência das características do aço carbono destinado ao uso como armaduras para concreto armado no comportamento frente à corrosão**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CASTRO, A. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito a carbonatação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

COSTA, P. E. F., **Influência da finura e teor de escória na penetração de cloretos no concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DAL RI, M., **Efeitos da adição da cal hidratada em concretos com altos teores de adição mineral na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

FERREIRA, R. B. **Influência das adições minerais nas características do concreto de cobertura e seu efeito na corrosão de armadura induzida por cloretos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

FRIZZO, B. T. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade ao oxigênio e na absorção capilar do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

GASTALDINI, A. L. G. **Influência das adições minerais na porosidade de pastas de cimento Portland.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4º, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1996, 3 v, v. 1, p. 119-136.

GASTALDINI, A. L. G., ISAIA, G. C. **Porosidade de pastas compostas de misturas binárias e ternárias de adições minerais.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7º, 1998, Florianópolis. Anais. Florianópolis, 1998. p. 35-43.

GOMES, N. S., **Influência de ativadores químicos e adições minerais no comportamento de concretos frente a cloretos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

HEIKAL, M., EL-DIDAMONY, H., MORSY, M.S. Limestone-filled pozzolanic cement . **Cement and Concrete Research**, Elsevier Science (ed). V.30, p. 1827-1834, 2000.

HEWLETT, P. C. The role of water in determining concrete performance. In: Dhir, R. & McCarthy M. (eds). **Concrete Durability and Repair Technology.** International Congress Creating with Concrete, Dundee, 1999. **Proceedings.** London, Thomas Telford, 1999. p. 63-80.

HOPPE FILHO, J. **Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de concreto com altos teores de adições minerais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

HUSSAIN, S. E., AL-GAHTANI, A.S., RASHEEDUZZAFAR. **Chloride threshold for corrosion of reinforcement in concrete.** ACI Materials Journal, v.94, n.6, p.534-538, 1996.

ISAIA, G. C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura.** São Paulo, 1995. 280 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995.

ISAIA, G. C., VAGHETTI, M. A. O., GASTALDINI, A. L. G. **Efeito de misturas pozolânicas sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 40º, Rio de Janeiro/RJ, 1998. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto.

ISAIA, G. C., GASTALDINI, A. L. G., MORAES, R. C., **The physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete.** In: SUSTAINABLE CONSTRUCTION INTO THE NEXT MILLENNIUM ENVIRONMENTALLY-FRIENDLY AND INNOVATIVE CEMENT BASED MATERIALS, 2000, João Pessoa. Proceedings of the International Conference on Sustainable Construction into the next millennium, João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2000. v.1, p. 229-244.

ISAIA, G. C., GASTALADINI, A. L. G., Alunos do Curso de Pós-Graduação, **Efeitos do aumento do nível da resistência à compressão sobre a microestrutura e durabilidade do concreto com pozolanas**. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, XXX<sup>o</sup>, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

ISAIA, G. C., GASTALADINI, A. L. G., **A influência da resistência à compressão do projeto estrutural sobre o desempenho do concreto com altos teores de pozolanas**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 45<sup>o</sup>, Vitória/ES, 2003. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto.

ISAIA, G. C., GASTALADINI, A. L. G., **Microestrutura e durabilidade de concreto de alto desempenho com altos teores de pozolanas: estudo comparativo com concreto convencional**. In: Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural, XXXI<sup>o</sup>, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, 2004.

KULAKOWSKI, M. P., **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de Sílica Ativa**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LEVINE, D. M., BERENSON, M. L., STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português**. Rio de Janeiro, 1998. Editora LTC.

MEHTA, P. K., AİTCIN, P. C. Microstructural basis of selection of materials and mix proportions for high strength concrete. In: HESTER, W. (ed) International Conference on Utilization of High Strength Concrete, 2<sup>nd</sup>, 1990, Berkeley. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1990a. p. 265-287 (SP-121).

MEHTA, P. K., MONTEIRO, J. P. M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K., SWAMY, R. N., HELENE, P. R. L, MALHOTRA, V. M. **Em busca do concreto eterno. Cimento hoje, ABCP**. Ano III. n. 23, ago 1999.

MORAES, R. C., **Efeitos físicos e pozolânicos das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

NANNI, L.F., RIBEIRO, J.L. **Planejamento e avaliação de experimentos**. Porto Alegre, 1987. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

SANCHEZ, E. **Aspectos gerais e reológicos do concreto de alta resistência**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 39., 1997, São Paulo. Anais... 2 v, v. 2, p. 643-660. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo, 1997.

SILVEIRA, R. G. **Estudo da microestrutura da camada de cobrimento de concretos com altos teores de cinza volante.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, 2004.

SPERB, J. E. K., **Carbonatação e absorção capilar de concretos com adições minerais e ativadores químicos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

STUMPP, M. J., **Carbonatação de concretos com altos teores de adições minerais e cal hidratada.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

THOMAS, M. **Chloride thresholds in marine concrete.** Cement and Concrete Research, Elsevier Science (ed). V.26, p. 513-519, 1996.

VAGHETTI, M. A. O. **Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

VENQUIARUTO, S. D. **A influência da finura e do teor de adições minerais na carbonatação do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

VIEIRA, F. M. P., **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

WINCK, M. L., **Efeitos físicos e pozolânicos de adições minerais sobre a penetração de cloretos no concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

# **ANEXO A**

---

RESULTADOS OBTIDOS DOS PROJETOS REALIZADOS PELO GEPECON

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRMA STATISTICA 6.0

Tabela A.1 - Resultados aos 91 dias do Projeto 1POZ - Variáveis da durabilidade

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Coeficiente de Carbonatação | Difusão a Água     | Teor de Cloretos Retidos | Penetração de Cloretos |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|
|                        |                | a/ag                       | fc (Mpa)                 | KCO <sub>2</sub>            | D H <sub>2</sub> O | T Cl-                    | P Cl-                  |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 68,80                    | 1,41                        | 0,46               | 0,516                    | 1439                   |
| Ref                    | 0              | 0,50                       | 49,00                    | 4,99                        | 1,73               | 0,728                    | 1771                   |
| Ref                    | 0              | 0,65                       | 35,10                    | 17,94                       | 3,48               | 1,040                    | 2450                   |
| CCA                    | 12,5           | 0,35                       | 73,20                    | 2,15                        | 0,51               | 0,271                    | 454                    |
| CCA                    | 12,5           | 0,50                       | 49,30                    | 4,59                        | 1,61               | 0,451                    | 875                    |
| CCA                    | 12,5           | 0,65                       | 35,10                    | 9,81                        | 3,16               | 0,758                    | 1264                   |
| CCA                    | 25             | 0,35                       | 78,30                    | 2,81                        | 0,68               | 0,166                    | 329                    |
| CCA                    | 25             | 0,50                       | 53,10                    | 8,97                        | 1,53               | 0,370                    | 563                    |
| CCA                    | 25             | 0,65                       | 40,80                    | 22,89                       | 2,99               | 0,617                    | 731                    |
| CCA                    | 50             | 0,35                       | 58,30                    | 16,79                       | 0,53               | 0,074                    | 84                     |
| CCA                    | 50             | 0,50                       | 40,80                    | 26,58                       | 1,27               | 0,162                    | 100                    |
| CCA                    | 50             | 0,65                       | 30,10                    | ind                         | 3,05               | 0,291                    | 137                    |
| CV                     | 12,5           | 0,35                       | 80,00                    | 2,80                        | 0,60               | 0,144                    | 703                    |
| CV                     | 12,5           | 0,50                       | 50,40                    | 8,66                        | 1,59               | 0,225                    | 994                    |
| CV                     | 12,5           | 0,65                       | 38,90                    | 14,69                       | 3,23               | 0,294                    | 1788                   |
| CV                     | 25             | 0,35                       | 70,80                    | 6,76                        | 0,55               | 0,221                    | 547                    |
| CV                     | 25             | 0,50                       | 49,10                    | 9,26                        | 1,40               | 0,380                    | 773                    |
| CV                     | 25             | 0,65                       | 35,60                    | 16,48                       | 2,96               | 0,583                    | 954                    |
| CV                     | 50             | 0,35                       | 61,70                    | 7,44                        | 0,57               | 0,104                    | 349                    |
| CV                     | 50             | 0,50                       | 35,70                    | 27,21                       | 1,32               | 0,401                    | 546                    |
| CV                     | 50             | 0,65                       | 26,90                    | ind                         | 3,12               | 0,560                    | 642                    |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,35                       | 78,80                    | 7,45                        | 0,61               | 0,234                    | 235                    |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,50                       | 48,00                    | 19,44                       | 1,59               | 0,429                    | 486                    |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,65                       | 31,70                    | 28,47                       | 3,17               | 0,595                    | 835                    |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,35                       | 72,00                    | 7,85                        | 0,63               | 0,196                    | 319                    |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,50                       | 45,60                    | 19,57                       | 1,63               | 0,591                    | 529                    |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,65                       | 29,80                    | ind                         | 2,89               | 0,793                    | 906                    |
| F                      | 12,5           | 0,35                       | 68,90                    | 6,14                        | 0,61               | 0,481                    | 1080                   |
| F                      | 12,5           | 0,50                       | 42,80                    | 12,70                       | 1,57               | 0,771                    | 1879                   |
| F                      | 12,5           | 0,65                       | 27,70                    | 26,27                       | 3,38               | 1,062                    | 2362                   |
| F                      | 25             | 0,35                       | 57,50                    | 7,96                        | 0,55               | 0,560                    | 1368                   |
| F                      | 25             | 0,50                       | 33,40                    | 18,31                       | 1,60               | 0,832                    | 2119                   |
| F                      | 25             | 0,65                       | 20,10                    | ind                         | 3,35               | 1,136                    | 3263                   |
| F                      | 50             | 0,35                       | 39,30                    | 17,25                       | 1,54               | 0,444                    | 2886                   |
| F                      | 50             | 0,50                       | 21,80                    | 27,21                       | 3,21               | 0,610                    | 4864                   |
| F                      | 50             | 0,65                       | 12,70                    | ind                         | 5,21               | 0,870                    | 6873                   |

Tabela A.1.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 1POZ - Variáveis da durabilidade

| KCO <sub>2</sub>   | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|--------------------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,461        | 0,202    |              |              |              |        |              |              |              |              |              | <b>0,024</b> | 0,159        | <b>0,024</b> |
|                    | Teor             | <b>0,001</b> |          | <b>0,002</b> |              |              |        | <b>0,008</b> | 0,329        | 0,225        | 0,777        |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | 0,178        |          | <b>0,000</b> |              | 0,201        |        | 0,247        | 0,949        | 0,559        | 0,882        | 0,188        | 0,057        | 0,435        |              |
|                    | fc               | 0,082        |          |              | <b>0,000</b> |              | 0,265  | 0,992        | 0,393        | 0,251        | 0,425        | 0,821        | 0,479        | <b>0,002</b> |              |
| ANOVA              | r                | 0,89         | 0,23     | 0,53         | 0,66         | 0,82         | 0,95   | 0,91         | 0,95         | 0,93         | 0,97         | 0,92         | 0,94         | 0,89         | 0,93         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,78         | 0,05     | 0,28         | 0,44         | 0,68         | 0,90   | 0,84         | 0,91         | 0,86         | 0,94         | 0,84         | 0,89         | 0,79         | 0,87         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 25,40        | 1,70     | 12,02        | 24,17        | 65,52        | 9,34   | 5,10         | 16,95        | 10,15        | 10,08        | 8,63         | 13,69        | 9,80         | 17,82        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,202    | <b>0,002</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,201  | 0,265        | <b>0,005</b> | <b>0,014</b> | 0,092        | <b>0,020</b> | <b>0,008</b> | <b>0,005</b> | <b>0,001</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16     | 4,16         | 4,16         | 4,16         | 161,45 | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |
| D H <sub>2</sub> O | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|                    |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,140        | 0,274    |              |              |              |        |              |              |              |              |              | 0,109        | 0,130        | 0,060        |
|                    | Teor             | 0,642        |          | 0,538        |              |              |        | 0,851        | 0,090        | 0,900        | <b>0,001</b> |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | <b>0,000</b> |          | <b>0,000</b> |              | 0,058        |        | <b>0,003</b> | <b>0,001</b> | 0,066        | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | <b>0,000</b> | <b>0,049</b> |              |
|                    | fc               | 0,232        |          |              | <b>0,000</b> |              | 0,122  | 0,304        | <b>0,032</b> | 0,349        | <b>0,014</b> | 0,070        | 0,189        | 0,122        |              |
| ANOVA              | r                | 0,93         | 0,20     | 0,11         | 0,90         | 0,87         | 1,00   | 0,98         | 0,99         | 0,99         | 1,00         | 0,99         | 0,99         | 0,99         | 0,95         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,87         | 0,04     | 0,01         | 0,82         | 0,76         | 0,99   | 0,96         | 0,97         | 0,99         | 0,99         | 0,99         | 0,99         | 0,98         | 0,90         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 48,26        | 1,24     | 0,39         | 139,04       | 99,44        | 118,76 | 26,39        | 64,71        | 118,08       | 72,30        | 118,68       | 162,22       | 110,22       | 23,20        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,274    | 0,538        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,058  | 0,122        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,014</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16     | 4,16         | 4,16         | 4,16         | 161,45 | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| P Cl-     | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|-----------|------------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | a/ag         | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,040</b> | <b>0,000</b> |       |              |              |        |              |              |              |              |              | <b>0,002</b> | 0,650        | <b>0,029</b> |
|           | Teor             | 0,166        |              | 0,562 |              |              |        | <b>0,003</b> | 0,137        | 0,076        | <b>0,003</b> |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,065        |              |       | 0,092        |              | 0,125  |              | 0,803        | 0,602        | <b>0,031</b> | <b>0,011</b> | 0,064        | 0,223        | 0,195        |
|           | fc               | <b>0,003</b> |              |       |              | <b>0,000</b> |        | 0,189        | 0,201        | 0,867        | 0,159        | 0,053        | 0,829        | 0,072        | <b>0,032</b> |
| ANOVA     | r                | 0,78         | 0,61         | 0,10  | 0,30         | 0,59         | 0,98   | 0,96         | 0,96         | 0,89         | 1,00         | 0,98         | 0,98         | 0,86         | 0,89         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,61         | 0,37         | 0,01  | 0,09         | 0,35         | 0,96   | 0,91         | 0,92         | 0,79         | 0,99         | 0,96         | 0,96         | 0,73         | 0,80         |
|           | F <sub>cal</sub> | 11,00        | 18,49        | 0,34  | 3,02         | 16,51        | 25,47  | 10,72        | 18,11        | 6,31         | 131,79       | 37,47        | 43,44        | 7,38         | 10,73        |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,562 | 0,092        | <b>0,000</b> | 0,125  | 0,189        | <b>0,004</b> | <b>0,037</b> | <b>0,008</b> | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | <b>0,011</b> | <b>0,004</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45 | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |
| T Cl-     | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | a/ag         | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |       |              |              |        |              |              |              |              |              | 0,424        | 0,297        | <b>0,000</b> |
|           | Teor             | <b>0,020</b> |              | 0,485 |              |              |        | <b>0,006</b> | 0,455        | 0,403        | <b>0,093</b> |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,157        |              |       | <b>0,000</b> |              | 0,070  |              | 0,148        | 0,328        | 0,576        | 0,360        | 0,447        | 0,716        | <b>0,006</b> |
|           | fc               | 0,099        |              |       |              | <b>0,000</b> |        | 0,134        | 0,623        | 0,839        | 0,889        | 0,293        | 0,202        | 0,077        | 0,847        |
| ANOVA     | r                | 0,89         | 0,59         | 0,13  | 0,64         | 0,72         | 0,99   | 0,98         | 0,97         | 0,86         | 0,96         | 0,97         | 0,84         | 0,93         | 0,97         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,80         | 0,35         | 0,02  | 0,41         | 0,51         | 0,99   | 0,96         | 0,94         | 0,75         | 0,93         | 0,94         | 0,71         | 0,87         | 0,93         |
|           | F <sub>cal</sub> | 27,48        | 16,34        | 0,50  | 21,30        | 32,88        | 82,37  | 21,91        | 26,95        | 4,87         | 8,22         | 28,28        | 4,13         | 17,81        | 37,90        |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,485 | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,070  | 0,134        | <b>0,002</b> | 0,060        | 0,110        | <b>0,001</b> | 0,081        | <b>0,001</b> | <b>0,000</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45 | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla



Tabela A.2 - Resultados aos 91 dias do Projeto 1POZ - Variáveis da microestrutura

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Teor de Hidróxido de Cálcio | Teor de Água Combinada | Porosimetria |          |        |       |       |           |              |           |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|----------|--------|-------|-------|-----------|--------------|-----------|
|                        |                |                            |                          |                             |                        | VTI ml/g x10 | ATP m2/g | DMP nm | PT %  | DC nm | d>50 nm % | 50>d>10 nm % | d<10 nm % |
|                        |                |                            |                          |                             |                        |              |          |        |       |       |           |              |           |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 68,80                    | 10,40                       | 12,10                  | 0,68         | 15891    | 17     | 13,00 | 56    | 20,70     | 62,90        | 16,40     |
| Ref                    | 0              | 0,50                       | 49,00                    | 13,30                       | 13,60                  | 1,16         | 29282    | 16     | 21,50 | 87    | 37,20     | 42,50        | 20,30     |
| Ref                    | 0              | 0,65                       | 35,10                    | 14,00                       | 14,50                  | 1,84         | 42913    | 17     | 28,70 | 110   | 44,70     | 36,80        | 18,50     |
| CCA                    | 12,5           | 0,35                       | 73,20                    | 7,10                        | 10,00                  | 0,87         | 22738    | 15     | 14,90 | 60    | 19,20     | 61,20        | 19,60     |
| CCA                    | 12,5           | 0,50                       | 49,30                    | 8,00                        | 10,60                  | 1,82         | 65670    | 11     | 26,20 | 73    | 32,80     | 32,40        | 34,80     |
| CCA                    | 12,5           | 0,65                       | 35,10                    | 9,80                        | 10,90                  | 2,51         | 34424    | 29     | 24,10 | 88    | 53,70     | 40,90        | 5,40      |
| CCA                    | 25             | 0,35                       | 78,30                    | 4,30                        | 11,50                  | 0,91         | 27852    | 13     | 14,90 | 50    | 15,00     | 61,10        | 23,90     |
| CCA                    | 25             | 0,50                       | 53,10                    | 5,00                        | 12,20                  | 1,28         | 39703    | 13     | 19,40 | 52    | 7,10      | 67,30        | 25,60     |
| CCA                    | 25             | 0,65                       | 40,80                    | 5,30                        | 12,60                  | 2,13         | 40933    | 21     | 24,80 | 72    | 27,80     | 62,60        | 9,60      |
| CCA                    | 50             | 0,35                       | 58,30                    | 0,10                        | 12,70                  | 1,03         | 43345    | 10     | 15,70 | 60    | 21,30     | 39,20        | 39,50     |
| CCA                    | 50             | 0,50                       | 40,80                    | 0,30                        | 12,70                  | 1,88         | 82117    | 9      | 24,40 | 38    | 5,30      | 49,70        | 45,00     |
| CCA                    | 50             | 0,65                       | 30,10                    | 0,40                        | 13,40                  | 2,12         | 48634    | 17     | 26,90 | 36    | 3,90      | 87,70        | 8,40      |
| CV                     | 12,5           | 0,35                       | 80,00                    | 6,90                        | 9,10                   | 0,82         | 11220    | 29     | 17,80 | 90    | 40,90     | 52,80        | 6,30      |
| CV                     | 12,5           | 0,50                       | 50,40                    | 7,70                        | 12,00                  | 1,91         | 55786    | 14     | 27,80 | 92    | 32,80     | 37,70        | 29,50     |
| CV                     | 12,5           | 0,65                       | 38,90                    | 9,10                        | 12,50                  | 2,78         | 67557    | 17     | 49,90 | 126   | 37,50     | 41,80        | 20,70     |
| CV                     | 25             | 0,35                       | 70,80                    | 5,80                        | 8,80                   | 1,04         | 31609    | 13     | 17,60 | 40    | 8,10      | 67,80        | 24,10     |
| CV                     | 25             | 0,50                       | 49,10                    | 6,30                        | 11,20                  | 1,73         | 35557    | 20     | 22,90 | 72    | 29,60     | 54,00        | 16,40     |
| CV                     | 25             | 0,65                       | 35,60                    | 7,50                        | 12,00                  | 2,15         | 44951    | 19     | 30,50 | 88    | 30,30     | 54,70        | 13,50     |
| CV                     | 50             | 0,35                       | 61,70                    | 0,90                        | 9,00                   | 1,46         | 35819    | 16     | 21,90 | 32    | 6,80      | 82,50        | 10,70     |
| CV                     | 50             | 0,50                       | 35,70                    | 1,80                        | 9,40                   | 2,38         | 47759    | 20     | 28,90 | 38    | 4,60      | 91,90        | 3,50      |
| CV                     | 50             | 0,65                       | 26,90                    | 2,20                        | 9,60                   | 2,48         | 56806    | 18     | 29,80 | 38    | 5,20      | 82,10        | 12,70     |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,35                       | 78,80                    | 2,10                        | 9,20                   | 0,72         | 21417    | 13     | 12,60 | 43    | 6,80      | 73,70        | 19,50     |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,50                       | 48,00                    | 2,60                        | 11,30                  | 1,79         | 61348    | 12     | 25,20 | 70    | 32,80     | 35,30        | 31,90     |
| CCA-CV                 | 12,5+12,5      | 0,65                       | 31,70                    | 3,40                        | 13,20                  | 2,24         | 42609    | 21     | 27,30 | 82    | 47,30     | 35,60        | 17,10     |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,35                       | 72,00                    | 0,70                        | 10,40                  | 0,98         | 36428    | 11     | 15,90 | 38    | 11,70     | 57,30        | 31,00     |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,50                       | 45,60                    | 1,10                        | 12,20                  | 1,86         | 71665    | 10     | 24,90 | 40    | 5,10      | 58,70        | 36,20     |
| CCA-CV                 | 25+25          | 0,65                       | 29,80                    | 1,40                        | 15,90                  | 2,09         | 83641    | 10     | 27,50 | 36    | 2,60      | 61,00        | 36,40     |
| F                      | 12,5           | 0,35                       | 68,90                    | 10,00                       | 10,50                  | 0,82         | 16729    | 20     | 15,20 | 70    | 41,10     | 44,40        | 14,50     |
| F                      | 12,5           | 0,50                       | 42,80                    | 10,90                       | 11,20                  | 1,86         | 40909    | 18     | 27,30 | 89    | 47,10     | 38,30        | 14,60     |
| F                      | 12,5           | 0,65                       | 27,70                    | 12,70                       | 11,40                  | 5,29         | 92482    | 23     | 69,30 | 147   | 55,10     | 33,10        | 11,80     |
| F                      | 25             | 0,35                       | 57,50                    | 9,30                        | 7,50                   | 1,16         | 22894    | 20     | 19,60 | 70    | 35,60     | 52,00        | 12,40     |
| F                      | 25             | 0,50                       | 33,40                    | 10,20                       | 9,10                   | 1,82         | 31613    | 23     | 27,50 | 78    | 47,10     | 42,90        | 10,00     |
| F                      | 25             | 0,65                       | 20,10                    | 11,00                       | 10,60                  | 2,41         | 28621    | 34     | 33,10 | 157   | 56,80     | 39,00        | 4,20      |
| F                      | 50             | 0,35                       | 39,30                    | 7,40                        | 6,60                   | 1,64         | 25833    | 25     | 18,00 | 85    | 54,10     | 36,10        | 9,80      |
| F                      | 50             | 0,50                       | 21,80                    | 8,50                        | 7,00                   | 2,43         | 26600    | 37     | 33,60 | 185   | 66,60     | 27,60        | 5,80      |
| F                      | 50             | 0,65                       | 12,70                    | 8,90                        | 7,60                   | 3,85         | 10919    | 141    | 44,90 | 955   | 93,10     | 6,90         | 0,00      |

Tabela A.2.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 1POZ - Variáveis da microestrutura

| CH        | Modelo Geral     | Individual   |              |              |              | Referência |              | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|-----------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc           | a/ag       | fc           | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,061        | <b>0,010</b> |              |              |            |              |              |              |              |              |              | <b>0,020</b> | 0,355        | <b>0,002</b> |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |              | <b>0,000</b> |              |            |              | <b>0,000</b> | <b>0,001</b> | <b>0,017</b> | <b>0,004</b> |              |              |              |              |
|           | a/ag             | <b>0,001</b> |              |              | 0,342        |            | 0,216        |              | 0,351        | 0,345        | 0,589        | 0,400        | 0,980        | <b>0,037</b> | <b>0,003</b> |
|           | fc               | <b>0,000</b> |              |              |              | 0,213      |              | 0,152        | 0,089        | 0,946        | 0,926        | 0,417        | 0,360        | <b>0,019</b> | <b>0,000</b> |
| ANOVA     | r                | 0,92         | 0,44         | 0,67         | 0,17         | 0,22       | 0,94         | 0,97         | 0,99         | 0,99         | 0,99         | 0,99         | 0,94         | 0,81         | 0,97         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,84         | 0,20         | 0,44         | 0,03         | 0,05       | 0,89         | 0,94         | 0,99         | 0,98         | 0,98         | 0,97         | 0,89         | 0,65         | 0,94         |
|           | F <sub>cal</sub> | 37,85        | 7,62         | 24,59        | 0,93         | 1,62       | 8,03         | 16,92        | 113,12       | 82,24        | 31,44        | 57,94        | 13,06        | 4,96         | 39,23        |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,010</b> | <b>0,000</b> | 0,342        | 0,213      | 0,216        | 0,152        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,031</b> | <b>0,000</b> | <b>0,008</b> | <b>0,031</b> | <b>0,000</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16         | 4,16         | 4,16       | 161,45       | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |
| AC        | Modelo Geral     |              |              |              |              |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|           |                  |              |              |              |              |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,403        | <b>0,015</b> |              |              |            |              |              |              |              |              |              | 0,780        | 0,160        | 0,308        |
|           | Teor             | 0,193        |              | 0,682        |              |            |              |              | <b>0,001</b> | <b>0,025</b> | 0,087        | <b>0,046</b> |              |              |              |
|           | a/ag             | <b>0,001</b> |              |              | <b>0,008</b> |            | 0,091        |              | <b>0,041</b> | 0,572        | 0,155        | 0,521        | 0,791        | 0,052        | <b>0,040</b> |
|           | fc               | <b>0,010</b> |              |              |              | 0,561      |              | <b>0,027</b> | 0,110        | 0,157        | 0,437        | 0,974        | 0,731        | 0,382        | 0,074        |
| ANOVA     | r                | 0,72         | 0,42         | 0,07         | 0,45         | 0,10       | 0,99         | 1,00         | 0,96         | 0,93         | 0,99         | 0,96         | 0,76         | 0,91         | 0,79         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,52         | 0,18         | 0,01         | 0,20         | 0,01       | 0,98         | 1,00         | 0,93         | 0,86         | 0,97         | 0,92         | 0,58         | 0,83         | 0,62         |
|           | F <sub>cal</sub> | 7,43         | 6,67         | 0,17         | 7,91         | 0,34       | 48,00        | 550,10       | 21,12        | 10,46        | 22,32        | 18,78        | 2,30         | 12,63        | 4,29         |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,015</b> | 0,682        | <b>0,008</b> | 0,561      | <b>0,091</b> | <b>0,027</b> | <b>0,003</b> | <b>0,014</b> | <b>0,043</b> | <b>0,004</b> | 0,195        | <b>0,002</b> | <b>0,044</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16         | 4,16         | 4,16       | 161,45       | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| VTI       | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Referência   |              | Tipo (m) |              |              |              | Teor (m) |              |              |              |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | a/ag         | fc           | CCA      | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%    | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,350        | 0,128    |       |              |              |              |          |              |              |              |          | 0,304        | 0,823        | 0,417        |
|           | Teor             | 0,391        |          | 0,832 |              |              |              | 0,244    | 0,468        | 0,176        | 0,755        |          |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,214        |          |       | <b>0,000</b> |              | 0,059        |          | 0,460        | 0,808        | 0,127        | 0,342    | 0,394        | 0,060        | 0,485        |
|           | fc               | 0,088        |          |       |              | <b>0,000</b> |              | 0,123    | 0,112        | 0,117        | <b>0,028</b> | 0,797    | 0,953        | 0,101        | 0,056        |
| ANOVA     | r                | 0,83         | 0,27     | 0,04  | 0,76         | 0,79         | 1,00         | 0,98     | 0,97         | 0,95         | 1,00         | 0,82     | 0,88         | 0,98         | 0,91         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,69         | 0,07     | 0,00  | 0,58         | 0,63         | 0,99         | 0,96     | 0,93         | 0,91         | 0,99         | 0,68     | 0,78         | 0,96         | 0,82         |
|           | F <sub>cal</sub> | 15,30        | 2,45     | 0,05  | 42,34        | 51,97        | 115,64       | 26,05    | 23,54        | 16,25        | 127,59       | 3,47     | 5,95         | 63,64        | 12,15        |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,128    | 0,832 | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,059        | 0,123    | <b>0,002</b> | <b>0,005</b> | <b>0,008</b> | 0,107    | <b>0,042</b> | <b>0,000</b> | <b>0,002</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16     | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45       | 161,45   | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41     | 5,41         | 4,07         | 4,07         |
| ATP       | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Referência   |              | Tipo (m) |              |              |              | Teor (m) |              |              |              |
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | a/ag         | fc           | CCA      | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%    | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,535        | 0,339    |       |              |              |              |          |              |              |              |          | 0,968        | 0,600        | 0,414        |
|           | Teor             | 0,418        |          | 0,539 |              |              |              |          | 0,875        | 0,326        | 0,464        | 0,181    |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,142        |          |       | <b>0,007</b> |              | <b>0,003</b> |          | 0,200        | 0,546        | 0,466        | 0,512    | 0,937        | 0,697        | 0,176        |
|           | fc               | 0,696        |          |       |              | <b>0,048</b> |              | 0,067    | 0,128        | 0,187        | 0,323        | 0,341    | 0,439        | 0,907        | 0,292        |
| ANOVA     | r                | 0,51         | 0,17     | 0,11  | 0,46         | 0,35         | 1,00         | 0,99     | 0,75         | 0,86         | 0,91         | 0,71     | 0,81         | 0,56         | 0,63         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,26         | 0,03     | 0,01  | 0,21         | 0,12         | 1,00         | 0,99     | 0,56         | 0,74         | 0,83         | 0,50     | 0,66         | 0,31         | 0,40         |
|           | F <sub>cal</sub> | 2,49         | 0,94     | 0,39  | 8,49         | 4,25         | 38031        | 88,56    | 2,11         | 4,84         | 3,37         | 1,70     | 3,18         | 1,22         | 1,79         |
|           | p                | 0,066        | 0,339    | 0,539 | <b>0,007</b> | <b>0,048</b> | <b>0,003</b> | 0,067    | 0,218        | 0,061        | 0,237        | 0,282    | 0,122        | 0,364        | 0,227        |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16     | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45       | 161,45   | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41     | 5,41         | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| DMP       | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Referência   |              | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |       |              |              |
|-----------|------------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | a/ag         | fc           | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%   | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,304        | <b>0,048</b> |       |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,273 | 0,514        | 0,302        |
|           | Teor             | 0,917        |              | 0,375 |              |              |              | 0,483        | 0,564        | 0,402        | <b>0,008</b> |              |       |              |              |
|           | a/ag             | 0,828        |              |       | 0,119        |              | 1,000        |              | 0,229        | 0,440        | 0,603        | <b>0,012</b> | 0,159 | 0,914        | 0,933        |
|           | fc               | 0,336        |              |       |              | <b>0,012</b> |              | 0,936        | 0,575        | 0,390        | 0,683        | <b>0,022</b> | 0,165 | 0,322        | 0,376        |
| ANOVA     | r                | 0,49         | 0,35         | 0,16  | 0,28         | 0,43         | 0,00         | 0,10         | 0,81         | 0,43         | 0,78         | 0,93         | 0,60  | 0,82         | 0,67         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,24         | 0,12         | 0,03  | 0,08         | 0,19         | 0,00         | 0,01         | 0,65         | 0,18         | 0,62         | 0,86         | 0,36  | 0,68         | 0,45         |
|           | F <sub>cal</sub> | 2,25         | 4,23         | 0,81  | 2,57         | 7,14         | 0,00         | 0,01         | 3,11         | 0,37         | 1,07         | 9,93         | 0,96  | 5,63         | 2,14         |
|           | p                | 0,089        | <b>0,048</b> | 0,375 | 0,119        | <b>0,012</b> | 1,000        | 0,936        | 0,127        | 0,778        | 0,517        | <b>0,015</b> | 0,481 | <b>0,023</b> | 0,173        |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45       | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41  | 4,07         | 4,07         |
| PT        | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Referência   |              | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |       |              |              |
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | a/ag         | fc           | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%   | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,180        | 0,086        |       |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,173 | 0,860        | 0,382        |
|           | Teor             | 0,208        |              | 0,634 |              |              |              | 0,519        | 0,578        | <b>0,039</b> | 0,980        |              |       |              |              |
|           | a/ag             | 0,202        |              |       | <b>0,000</b> |              | <b>0,030</b> |              | 0,916        | 0,713        | <b>0,011</b> | 0,416        | 0,219 | 0,790        | 0,373        |
|           | fc               | 0,304        |              |       |              | <b>0,000</b> |              | <b>0,034</b> | 0,184        | 0,754        | <b>0,003</b> | 0,919        | 0,572 | 0,025        | 0,142        |
| ANOVA     | r                | 0,77         | 0,30         | 0,09  | 0,68         | 0,68         | 1,00         | 1,00         | 0,92         | 0,80         | 1,00         | 0,82         | 0,85  | 0,97         | 0,88         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,59         | 0,09         | 0,01  | 0,47         | 0,46         | 1,00         | 1,00         | 0,84         | 0,65         | 1,00         | 0,67         | 0,73  | 0,94         | 0,77         |
|           | F <sub>cal</sub> | 9,93         | 3,14         | 0,23  | 27,30        | 26,76        | 437,56       | 355,77       | 8,87         | 3,03         | 708,63       | 3,44         | 4,49  | 40,27        | 9,06         |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,086        | 0,634 | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,030</b> | <b>0,034</b> | <b>0,019</b> | 0,132        | <b>0,001</b> | 0,108        | 0,070 | <b>0,000</b> | <b>0,006</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16  | 4,16         | 4,16         | 161,45       | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41  | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| DC        | Modelo Geral     | Individual |          |       |       | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |       |
|-----------|------------------|------------|----------|-------|-------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
|           |                  | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag         | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%          | 50%          |       |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,311      | 0,061    |       |       |              |        |              |              |              |              |              | <b>0,035</b> | 0,344        | 0,312 |
|           | Teor             | 0,964      |          | 0,466 |       |              |        | <b>0,047</b> | <b>0,043</b> | 0,106        | <b>0,009</b> |              |              |              |       |
|           | a/ag             | 0,930      |          |       | 0,110 |              | 0,054  |              | 0,523        | 0,483        | 0,534        | <b>0,012</b> | <b>0,032</b> | 0,691        | 0,984 |
|           | fc               | 0,405      |          |       |       | <b>0,015</b> |        | <b>0,010</b> | 0,361        | 0,888        | 0,417        | <b>0,023</b> | 0,102        | 0,503        | 0,477 |
| ANOVA     | r                | 0,47       | 0,33     | 0,13  | 0,28  | 0,42         | 1,00   | 1,00         | 0,80         | 0,94         | 0,92         | 0,92         | 0,91         | 0,85         | 0,63  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,22       | 0,11     | 0,02  | 0,08  | 0,17         | 0,99   | 1,00         | 0,64         | 0,88         | 0,84         | 0,85         | 0,83         | 0,72         | 0,40  |
|           | F <sub>cal</sub> | 2,00       | 3,78     | 0,54  | 2,71  | 6,57         | 136,69 | 4209,72      | 2,95         | 12,19        | 3,47         | 9,32         | 8,17         | 6,94         | 1,75  |
|           | p                | 0,122      | 0,061    | 0,466 | 0,110 | <b>0,015</b> | 0,054  | <b>0,010</b> | 0,137        | <b>0,010</b> | 0,232        | <b>0,017</b> | <b>0,023</b> | <b>0,013</b> | 0,234 |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71       | 4,16     | 4,16  | 4,16  | 4,16         | 161,45 | 161,45       | 5,41         | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41         | 4,07         | 4,07  |

| d>50nm    | Modelo Geral     | Individual   |              |       |       | Referência   |        | Tipo (m) |       |              |              | Teor (m)     |       |              |              |
|-----------|------------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|--------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc    | a/ag         | fc     | CCA      | CV    | CCA-CV       | F            | 12,5%        | 25%   | 50%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,083        | <b>0,001</b> |       |       |              |        |          |       |              |              |              | 0,133 | 0,120        | 0,110        |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |              | 0,118 |       |              |        | 0,069    | 0,092 | 0,216        | <b>0,006</b> |              |       |              |              |
|           | a/ag             | <b>0,023</b> |              |       | 0,146 |              | 0,136  |          | 0,502 | 0,546        | 0,683        | <b>0,012</b> | 0,358 | 0,862        | 0,070        |
|           | fc               | <b>0,001</b> |              |       |       | <b>0,009</b> |        | 0,072    | 0,330 | 0,672        | 0,584        | <b>0,049</b> | 0,634 | 0,134        | <b>0,033</b> |
| ANOVA     | r                | 0,80         | 0,56         | 0,28  | 0,26  | 0,45         | 0,98   | 0,99     | 0,76  | 0,91         | 0,82         | 0,97         | 0,79  | 0,93         | 0,85         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,64         | 0,31         | 0,08  | 0,07  | 0,20         | 0,96   | 0,99     | 0,57  | 0,83         | 0,68         | 0,93         | 0,62  | 0,87         | 0,73         |
|           | F <sub>cal</sub> | 12,40        | 13,97        | 2,59  | 2,23  | 7,75         | 21,33  | 78,38    | 2,25  | 7,93         | 1,41         | 23,12        | 2,68  | 17,51        | 7,06         |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,001</b> | 0,118 | 0,146 | <b>0,009</b> | 0,136  | 0,072    | 0,200 | <b>0,024</b> | 0,441        | <b>0,002</b> | 0,158 | <b>0,001</b> | <b>0,012</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,71         | 4,16         | 4,16  | 4,16  | 4,16         | 161,45 | 161,45   | 5,41  | 5,41         | 19,16        | 5,41         | 5,41  | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| 50>d>10<br>nm |                  | Modelo<br>Geral | Individual   |          |       |       | Referência |        | Tipo (m)     |              |        |              | Teor (m) |              |       |
|---------------|------------------|-----------------|--------------|----------|-------|-------|------------|--------|--------------|--------------|--------|--------------|----------|--------------|-------|
|               |                  |                 | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag       | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV | F            | 12,5%    | 25%          | 50%   |
| Var. Ind.     | Tipo             | 0,321           | <b>0,009</b> |          |       |       |            |        |              |              |        |              | 0,910    | 0,385        | 0,248 |
|               | Teor             | <b>0,003</b>    |              | 0,133    |       |       |            |        | 0,058        | <b>0,006</b> | 0,243  | <b>0,037</b> |          |              |       |
|               | a/ag             | 0,065           |              |          | 0,358 |       | 0,200      |        | <b>0,047</b> | 0,947        | 0,345  | 0,057        | 0,470    | 0,828        | 0,278 |
|               | fc               | <b>0,014</b>    |              |          |       | 0,065 |            | 0,136  | 0,057        | 0,659        | 0,278  | 0,145        | 0,201    | 0,351        | 0,283 |
| ANOVA         | r                | 0,67            | 0,45         | 0,27     | 0,17  | 0,32  | 0,95       | 0,98   | 0,78         | 0,97         | 0,85   | 0,91         | 0,82     | 0,81         | 0,67  |
|               | r <sup>2</sup>   | 0,45            | 0,20         | 0,07     | 0,03  | 0,11  | 0,90       | 0,96   | 0,61         | 0,93         | 0,72   | 0,83         | 0,67     | 0,66         | 0,45  |
|               | F <sub>cal</sub> | 5,63            | 7,74         | 2,38     | 0,87  | 3,66  | 9,46       | 21,24  | 2,65         | 23,23        | 1,68   | 7,95         | 3,44     | 5,09         | 2,14  |
|               | p                | <b>0,002</b>    | <b>0,009</b> | 0,133    | 0,358 | 0,065 | 0,200      | 0,136  | 0,161        | <b>0,002</b> | 0,394  | <b>0,024</b> | 0,109    | <b>0,029</b> | 0,173 |
|               | F <sub>tab</sub> | 2,71            | 4,16         | 4,16     | 4,16  | 4,16  | 161,45     | 161,45 | 5,41         | 5,41         | 19,16  | 5,41         | 5,41     | 4,07         | 4,07  |
| d<10nm        |                  | Modelo<br>Geral | Individual   |          |       |       | Referência |        | Tipo (m)     |              |        |              | Teor (m) |              |       |
|               |                  |                 | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag       | fc     | CCA          | CV           | CCA-CV | F            | 12,5%    | 25%          | 50%   |
| Var. Ind.     | Tipo             | 0,355           | 0,057        |          |       |       |            |        |              |              |        |              | 0,196    | 0,581        | 0,753 |
|               | Teor             | 0,239           |              | 0,589    |       |       |            |        | 0,793        | 0,188        | 0,309  | <b>0,021</b> |          |              |       |
|               | a/ag             | 0,649           |              |          | 0,200 |       | 0,638      |        | <b>0,041</b> | 0,492        | 0,313  | 0,055        | 0,218    | 0,882        | 0,446 |
|               | fc               | 0,280           |              |          |       | 0,064 |            | 0,574  | 0,100        | 0,442        | 0,296  | 0,211        | 0,212    | 0,716        | 0,196 |
| ANOVA         | r                | 0,46            | 0,33         | 0,10     | 0,23  | 0,33  | 0,54       | 0,62   | 0,85         | 0,63         | 0,89   | 0,95         | 0,59     | 0,63         | 0,59  |
|               | r <sup>2</sup>   | 0,21            | 0,11         | 0,01     | 0,05  | 0,11  | 0,29       | 0,38   | 0,73         | 0,39         | 0,79   | 0,91         | 0,35     | 0,40         | 0,35  |
|               | F <sub>cal</sub> | 1,88            | 3,91         | 0,30     | 1,71  | 3,70  | 0,41       | 0,62   | 4,40         | 1,08         | 2,58   | 16,74        | 0,90     | 1,77         | 1,43  |
|               | p                | 0,142           | 0,057        | 0,589    | 0,200 | 0,064 | 0,638      | 0,574  | 0,072        | 0,436        | 0,292  | <b>0,005</b> | 0,502    | 0,230        | 0,305 |
|               | F <sub>tab</sub> | 2,71            | 4,16         | 4,16     | 4,16  | 4,16  | 161,45     | 161,45 | 5,41         | 5,41         | 19,16  | 5,41         | 5,41     | 4,07         | 4,07  |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.2.2 – Resultados do Projeto 1POZ, após a análise estatística das misturas com e sem adições minerais

| Variáveis          | Modelo Geral | Individual |          |            |            | Referência  |             | Tipo (m)    |             |             |             | Teor (m)    |             |             |
|--------------------|--------------|------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    |              | Tipo (i)   | Teor (i) | a/aq       | fc         | a/aq        | fc          | CCA         | CV          | CCA-CV      | F           | 12,5%       | 25%         | 50%         |
| KCO <sub>2</sub>   | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>ppp | r<br>ppp   | rr<br>ppp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 46,09      | -0,39      | 55,10       | -0,47       |             |             |             |             |             |             |             |
| D H <sub>2</sub> O | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>p   | rrr<br>ppp | rrr<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 8,83       | -0,06      | 10,07       | -0,09       |             |             |             |             |             |             |             |
| P Cl-              | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>pp    | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 3454       | -46,10     | 3370        | -29,10      |             |             |             |             |             |             |             |
| T Cl-              | rrr<br>ppp   | r<br>ppp   | r<br>p   | rr<br>ppp  | rr<br>ppp  | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 1,41       | -0,011     | 1,75        | -0,02       |             |             |             |             |             |             |             |
| CH                 | rrr<br>ppp   | r<br>p     | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>ppp   | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 5,18       | -0,04      | 12,0        | -0,11       |             |             |             |             |             |             |             |
| AC                 | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rr<br>ppp   |
| C.A                |              |            |          | 7,39       | -0,012     | 8,0         | -0,07       |             |             |             |             |             |             |             |
| VTI                | rr<br>ppp    | r<br>p     | r<br>p   | rr<br>ppp  | rr<br>ppp  | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 5,63       | -0,04      | 3,87        | -0,034      |             |             |             |             |             |             |             |
| ATP                | r<br>pp      | r<br>p     | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>pp  | rr<br>p     | rrr'<br>pp  | rrr'<br>p   | rr<br>p     | rr<br>p     | r<br>p      | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | 77482      | -391       | 90073       | -793        |             |             |             |             |             |             |             |
| DMP                | r<br>pp      | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | r<br>p      | r<br>p      | rr<br>p     | r<br>p      | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | r<br>p      | rr<br>ppp   | rr<br>p     |
| C.A                |              |            |          | 50,0       | -0,53      | 0,0         | 0,003       |             |             |             |             |             |             |             |
| PT                 | rr<br>ppp    | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>ppp   | r<br>ppp   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 61,82      | -0,41      | 52,33       | -0,46       |             |             |             |             |             |             |             |
| DC                 | r<br>p       | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | rrr'<br>pp  | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | 359        | -3,58      | 180,0       | -1,60       |             |             |             |             |             |             |             |
| d>50               | rr<br>ppp    | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>ppp   | rrr'<br>p   | rrr'<br>pp  | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>ppp |
| C.A                |              |            |          | 46,27      | -0,54      | 80,0        | -0,72       |             |             |             |             |             |             |             |
| 50>d>10            | r<br>ppp     | r<br>ppp   | r<br>p   | r<br>p     | r<br>pp    | rrr'<br>p   | rrr'<br>p   | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | rr<br>p     | rrr'<br>ppp | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | -25,06     | 0,33       | -87,0       | 0,79        |             |             |             |             |             |             |             |
| d<10               | r<br>p       | r<br>pp    | r<br>p   | r<br>p     | r<br>pp    | r<br>p      | r<br>p      | rrr'<br>pp  | r<br>p      | rrr'<br>p   | rrr'<br>ppp | r<br>p      | r<br>p      | r<br>p      |
| C.A                |              |            |          | -21,7      | 0,21       | 7,0         | -0,071      |             |             |             |             |             |             |             |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.3 - Resultados aos 91 dias do Projeto 2CAL

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Coeficiente de Carbonatação | Absorção Capilar   | Penetração de Cloretos | Permeabilidade ao Oxigênio | Teor de Hidróxido de Cálcio | Relação Iônica Cl-/OH- |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                        |                | a/ag                       | fc (Mpa)                 | KCO <sub>2</sub>            | A H <sub>2</sub> O | P Cl-                  | P O <sub>2</sub>           | CH                          |                        |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 72,40                    | 0,10                        | 316,50             | 2380                   | 2,30                       | 2,95                        | 0,761                  |
| Ref                    | 0              | 0,45                       | 51,80                    | 1,31                        | 469,70             | 2800                   | 9,40                       | 5,00                        | 0,998                  |
| Ref                    | 0              | 0,55                       | 46,10                    | 3,53                        | 654,70             | 3134                   | 44,80                      | 8,48                        | 1,507                  |
| CV+C 15%               | 50             | 0,35                       | 78,60                    | 1,39                        | 961,80             | 900                    | 0,90                       | 0,34                        | 0,166                  |
| CV+C 15%               | 50             | 0,45                       | 53,00                    | 4,19                        | 1439,30            | 1078                   | 2,70                       | 0,70                        | 0,214                  |
| CV+C 15%               | 50             | 0,55                       | 34,10                    | 8,01                        | 1729,10            | 1277                   | 8,20                       | 1,45                        | 0,311                  |
| CV                     | 50             | 0,35                       | 59,10                    | 3,95                        | 2280,60            | 754                    | 7,90                       | 0,47                        | 0,691                  |
| CV                     | 50             | 0,45                       | 30,50                    | 7,49                        | 2837,00            | 925                    | 38,30                      | 0,57                        | 1,438                  |
| CV                     | 50             | 0,55                       | 25,40                    | 14,61                       | 3310,60            | 1190                   | 83,70                      | 0,69                        | 2,096                  |
| CCA+C 18%              | 50             | 0,35                       | 79,60                    | 1,08                        | 255,10             | 406                    | 1,10                       | < 0,13                      | 0,476                  |
| CCA+C 18%              | 50             | 0,45                       | 59,40                    | 3,92                        | 554,80             | 479                    | 1,80                       | < 0,13                      | 0,705                  |
| CCA+C 18%              | 50             | 0,55                       | 39,30                    | 6,30                        | 1103,50            | 570                    | 3,90                       | < 0,13                      | 0,949                  |
| CCA                    | 50             | 0,35                       | 80,20                    | 2,73                        | 345,80             | 200                    | 2,80                       | < 0,13                      | 0,441                  |
| CCA                    | 50             | 0,45                       | 51,90                    | 6,08                        | 1336,70            | 218                    | 4,60                       | < 0,13                      | 1,136                  |
| CCA                    | 50             | 0,55                       | 40,30                    | 9,75                        | 2549,80            | 239                    | 8,50                       | < 0,13                      | 1,863                  |
| E+C 15%                | 70             | 0,35                       | 59,30                    | 0,72                        | 176,40             | 953                    | 0,40                       | 1,67                        | 0,215                  |
| E+C 15%                | 70             | 0,45                       | 42,70                    | 2,33                        | 515,80             | 1037                   | 3,40                       | 2,97                        | 0,495                  |
| E+C 15%                | 70             | 0,55                       | 36,10                    | 3,26                        | 597,40             | 1129                   | 15,00                      | 5,28                        | 0,880                  |
| E                      | 70             | 0,35                       | 49,10                    | 1,02                        | 285,50             | 840                    | 15,80                      | 0,81                        | 0,369                  |
| E                      | 70             | 0,45                       | 39,10                    | 7,10                        | 1203,70            | 1030                   | 90,20                      | 0,97                        | 0,711                  |
| E                      | 70             | 0,55                       | 32,60                    | 9,08                        | 1485,60            | 1140                   | 222,10                     | 1,17                        | 0,904                  |
| CV-CCA+C 18%           | 50+20          | 0,35                       | 65,00                    | 3,71                        | 1213,40            | 450                    | 1,70                       | < 0,21                      | 0,273                  |
| CV-CCA+C 18%           | 50+20          | 0,45                       | 49,90                    | 5,56                        | 1742,90            | 522                    | 3,20                       | < 0,21                      | 0,452                  |
| CV-CCA+C 18%           | 50+20          | 0,55                       | 35,70                    | 6,35                        | 2403,40            | 670                    | 4,10                       | < 0,21                      | 1,139                  |
| CV-CCA                 | 50+20          | 0,35                       | 55,70                    | 9,68                        | 2945,50            | 183                    | 20,20                      | < 0,13                      | 0,437                  |
| CV-CCA                 | 50+20          | 0,45                       | 37,80                    | 14,29                       | 3781,30            | 208                    | 48,10                      | < 0,13                      | 3,439                  |
| CV-CCA                 | 50+20          | 0,55                       | 26,90                    | 18,27                       | 5199,60            | 294                    | 87,30                      | < 0,13                      | 7,126                  |
| CV-E+C 18%             | 20+70          | 0,35                       | 49,10                    | 1,74                        | 187,40             | 460                    | 25,40                      | 0,39                        | 0,434                  |
| CV-E+C 18%             | 20+70          | 0,45                       | 39,80                    | 5,91                        | 1464,90            | 557                    | 44,50                      | 1,26                        | 0,435                  |
| CV-E+C 18%             | 20+70          | 0,55                       | 26,40                    | 9,18                        | 2709,60            | 659                    | 149,20                     | 4,01                        | 0,843                  |
| CV-E                   | 20+70          | 0,35                       | 46,20                    | 4,64                        | 1438,70            | 448                    | 334,00                     | 0,17                        | 2,355                  |
| CV-E                   | 20+70          | 0,45                       | 33,10                    | 6,70                        | 3107,80            | 552                    | 515,10                     | 0,40                        | 1,199                  |
| CV-E                   | 20+70          | 0,55                       | 20,00                    | 14,13                       | 4743,30            | 651                    | 636,10                     | 0,94                        | 1,323                  |



Tabela A.3.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL - Para misturas com e sem o uso da Cal Hidratada

| KCO <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Referência   |              | Tipo (m) |       |       |        |              | Teor (m)     |              |              |              |
|------------------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|----------|-------|-------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | a/ag         | fc           | CV       | CCA   | E     | CV-CCA | CV-E         | 50%          | 70%          | 90%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | <b>0,000</b> | 0,159    |       |              |              |              |          |       |       |        |              |              | 0,438        | <b>0,001</b> | 0,694        |
|                  | Teor             | <b>0,000</b> |          | 0,541 |              |              |              |          |       |       |        |              |              |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,895        |          |       | <b>0,000</b> |              | 0,107        |          | 0,590 | 0,890 | 0,880  | <b>0,044</b> | 0,532        | 0,699        | 0,631        | 0,856        |
|                  | fc               | <b>0,002</b> |          |       |              | <b>0,000</b> |              | 0,308    | 0,294 | 0,660 | 0,366  | <b>0,018</b> | 0,097        | <b>0,044</b> | 0,059        | 0,801        |
| ANOVA            | r                | 0,85         | 0,26     | 0,12  | 0,64         | 0,70         | 0,99         | 0,88     | 0,90  | 0,90  | 0,79   | 0,95         | 0,96         | 0,90         | 0,93         | 0,97         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,73         | 0,07     | 0,01  | 0,40         | 0,49         | 0,97         | 0,78     | 0,80  | 0,81  | 0,62   | 0,91         | 0,93         | 0,81         | 0,87         | 0,94         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 16,69        | 2,09     | 0,38  | 19,03        | 26,40        | 34,60        | 3,61     | 6,14  | 6,40  | 2,48   | 14,36        | 19,79        | 11,30        | 17,21        | 9,77         |
|                  | p                | <b>0,000</b> | 0,159    | 0,541 | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,107        | 0,308    | 0,087 | 0,083 | 0,232  | <b>0,029</b> | <b>0,019</b> | <b>0,003</b> | <b>0,001</b> | 0,094        |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20  | 4,20         | 4,20         | 161,45       | 161,45   | 9,55  | 9,55  | 9,55   | 9,55         | 9,55         | 4,07         | 4,07         | 19,16        |
| ANOVA            | r                | 0,77         | 0,32     | 0,19  | 0,49         | 0,63         | 1,00         | 0,93     | 0,90  | 0,80  | 0,81   | 0,95         | 0,99         | 0,88         | 0,95         | 1,00         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,59         | 0,10     | 0,04  | 0,24         | 0,40         | 1,00         | 0,87     | 0,81  | 0,64  | 0,66   | 0,90         | 0,98         | 0,77         | 0,91         | 0,99         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 8,96         | 3,26     | 1,10  | 8,81         | 18,76        | 339,3        | 6,63     | 6,24  | 2,68  | 2,88   | 13,41        | 67,76        | 9,02         | 25,52        | 106,91       |
|                  | p                | <b>0,000</b> | 0,082    | 0,304 | <b>0,006</b> | <b>0,000</b> | <b>0,035</b> | 0,236    | 0,085 | 0,215 | 0,200  | <b>0,032</b> | <b>0,003</b> | <b>0,006</b> | <b>0,000</b> | <b>0,009</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20  | 4,20         | 4,20         | 161,45       | 161,45   | 9,55  | 9,55  | 9,55   | 9,55         | 9,55         | 4,07         | 4,07         | 19,16        |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| P Cl-            | Modelo Geral     | Individual   |              |              |       | Referência   |              | Tipo (m) |              |       |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|----------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc    | a/ag         | fc           | CV       | CCA          | E     | CV-CCA       | CV-E         | 50%          | 70%          | 90%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | <b>0,000</b> | <b>0,021</b> |              |       |              |              |          |              |       |              |              |              | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,050</b> |
|                  | Teor             | <b>0,000</b> |              | 0,519        |       |              |              |          |              |       |              |              |              |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,984        |              |              | 0,140 |              | <b>0,042</b> |          | <b>0,000</b> | 0,542 | <b>0,026</b> | <b>0,004</b> | <b>0,000</b> | 0,983        | 0,706        | <b>0,007</b> |
|                  | fc               | 0,067        |              |              |       | 0,131        |              | 0,159    | <b>0,004</b> | 0,593 | 0,227        | <b>0,005</b> | 0,108        | <b>0,077</b> | 0,474        | 0,187        |
| ANOVA            | r                | 0,90         | 0,42         | 0,12         | 0,28  | 0,28         | 1,00         | 0,97     | 1,00         | 0,43  | 0,97         | 0,98         | 1,00         | 0,98         | 0,96         | 1,00         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,81         | 0,18         | 0,02         | 0,08  | 0,08         | 1,00         | 0,94     | 0,99         | 0,18  | 0,94         | 0,95         | 1,00         | 0,96         | 0,92         | 1,00         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 27,50        | 5,99         | 0,43         | 2,31  | 2,43         | 230,60       | 15,29    | 248,13       | 0,33  | 22,88        | 31,69        | 1413,97      | 56,91        | 32,32        | 6468         |
|                  | p                | <b>0,000</b> | <b>0,021</b> | 0,519        | 0,140 | 0,131        | <b>0,042</b> | 0,159    | <b>0,000</b> | 0,739 | <b>0,015</b> | <b>0,010</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20         | 4,20         | 4,20  | 4,20         | 161,45       | 161,45   | 9,55         | 9,55  | 9,55         | 9,55         | 9,55         | 4,07         | 4,07         | 19,16        |
| P O <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |              |              |       | Referência   |              | Tipo (m) |              |       |              |              | Teor (m)     |              |              |              |
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc    | a/ag         | fc           | CV       | CCA          | E     | CV-CCA       | CV-E         | 50%          | 70%          | 90%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,668        | <b>0,001</b> |              |       |              |              |          |              |       |              |              |              | 0,968        | 0,990        | 0,089        |
|                  | Teor             | 0,502        |              | <b>0,001</b> |       |              |              |          |              |       |              |              |              |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,975        |              |              | 0,250 |              | 0,234        |          | 0,856        | 0,884 | 0,932        | 0,182        | <b>0,006</b> | 0,317        | 0,876        | 0,163        |
|                  | fc               | 0,390        |              |              |       | <b>0,009</b> |              | 0,435    | 0,354        | 0,881 | 0,546        | 0,082        | <b>0,004</b> | 0,074        | 0,360        | 0,104        |
| ANOVA            | r                | 0,64         | 0,57         | 0,59         | 0,22  | 0,47         | 0,93         | 0,78     | 0,72         | 0,72  | 0,64         | 0,87         | 0,98         | 0,69         | 0,56         | 1,00         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,42         | 0,32         | 0,35         | 0,05  | 0,22         | 0,87         | 0,60     | 0,52         | 0,52  | 0,41         | 0,75         | 0,97         | 0,47         | 0,31         | 0,99         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 4,45         | 13,40        | 14,96        | 1,38  | 7,79         | 6,77         | 1,51     | 1,62         | 1,62  | 1,05         | 4,57         | 41,43        | 2,38         | 1,20         | 110,98       |
|                  | p                | <b>0,007</b> | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | 0,250 | <b>0,009</b> | 0,234        | 0,435    | 0,333        | 0,333 | 0,451        | 0,123        | <b>0,007</b> | 0,146        | 0,369        | <b>0,009</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20         | 4,20         | 4,20  | 4,20         | 161,45       | 161,45   | 9,55         | 9,55  | 9,55         | 9,55         | 9,55         | 4,07         | 4,07         | 19,16        |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| CH        | Modelo Geral     | Individual   |          |       |       | Referência |        | Tipo (m) |       |   |        |              | Teor (m) |              |              |       |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|-------|------------|--------|----------|-------|---|--------|--------------|----------|--------------|--------------|-------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag       | fc     | CV       | CCA   | E | CV-CCA | CV-E         | 50%      | 70%          | 90%          |       |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,000</b> | 0,990    |       |       |            |        |          |       |   |        |              |          | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,922 |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |          | 0,081 |       |            |        |          |       |   |        |              |          |              |              |       |
|           | a/ag             | <b>0,001</b> |          |       | 0,967 |            | 0,094  |          | 0,197 | - | 0,215  | <b>0,007</b> | 0,083    | <b>0,013</b> | <b>0,006</b> | 0,581 |
|           | fc               | <b>0,000</b> |          |       |       | 0,103      |        | 0,296    | 0,576 | - | 0,332  | <b>0,005</b> | 0,143    | <b>0,007</b> | <b>0,004</b> | 0,692 |
| ANOVA     | r                | 0,94         | 0,00     | 0,32  | 0,01  | 0,30       | 0,99   | 0,89     | 0,79  | - | 0,70   | 0,97         | 0,88     | 0,96         | 0,96         | 0,88  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,89         | 0,00     | 0,10  | 0,00  | 0,09       | 0,98   | 0,80     | 0,63  | - | 0,49   | 0,95         | 0,77     | 0,92         | 0,93         | 0,77  |
|           | F <sub>cal</sub> | 48,16        | 0,00     | 3,27  | 0,00  | 2,83       | 44,86  | 3,99     | 2,54  | - | 1,45   | 27,26        | 4,95     | 32,31        | 35,22        | 2,22  |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,990    | 0,081 | 0,967 | 0,103      | 0,094  | 0,296    | 0,226 | - | 0,363  | <b>0,012</b> | 0,112    | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,326 |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20  | 4,20  | 4,20       | 161,45 | 161,45   | 9,55  | - | 9,55   | 9,55         | 9,55     | 4,07         | 4,07         | 19,16 |

| CI-/OH-   | Modelo Geral     | Individual   |          |       |       | Referência   |        | Tipo (m) |       |       |              |       | Teor (m) |              |              |       |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|-------|--------------|--------|----------|-------|-------|--------------|-------|----------|--------------|--------------|-------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | a/ag         | fc     | CV       | CCA   | E     | CV-CCA       | CV-E  | 50%      | 70%          | 90%          |       |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,002</b> | 0,161    |       |       |              |        |          |       |       |              |       |          | <b>0,022</b> | 0,056        | 0,284 |
|           | Teor             | <b>0,003</b> |          | 0,621 |       |              |        |          |       |       |              |       |          |              |              |       |
|           | a/ag             | 0,621        |          |       | 0,054 |              | 0,132  |          | 0,433 | 0,967 | 0,203        | 0,424 | 0,194    | 0,357        | 0,603        | 0,581 |
|           | fc               | 0,057        |          |       |       | <b>0,016</b> |        | 0,333    | 0,170 | 0,730 | 0,144        | 0,154 | 0,208    | <b>0,024</b> | 0,133        | 0,552 |
| ANOVA     | r                | 0,67         | 0,26     | 0,09  | 0,36  | 0,43         | 0,98   | 0,87     | 0,78  | 0,81  | 0,98         | 0,85  | 0,69     | 0,85         | 0,80         | 0,86  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,45         | 0,07     | 0,01  | 0,13  | 0,19         | 0,96   | 0,75     | 0,61  | 0,65  | 0,96         | 0,72  | 0,48     | 0,73         | 0,64         | 0,75  |
|           | F <sub>cal</sub> | 5,14         | 2,07     | 0,25  | 4,06  | 6,53         | 22,57  | 3,00     | 2,37  | 2,83  | 36,63        | 3,89  | 1,39     | 7,16         | 4,72         | 1,97  |
|           | p                | <b>0,004</b> | 0,161    | 0,621 | 0,054 | <b>0,016</b> | 0,132  | 0,333    | 0,242 | 0,204 | <b>0,008</b> | 0,147 | 0,374    | <b>0,012</b> | <b>0,035</b> | 0,355 |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20  | 4,20  | 4,20         | 161,45 | 161,45   | 9,55  | 9,55  | 9,55         | 9,55  | 9,55     | 4,07         | 4,07         | 19,16 |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.3.2 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL - Para misturas com o uso da Cal Hidratada

| KCO <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Teor (m)     |              |              |
|------------------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,396        | 0,466    |       |              | 0,532        | <b>0,011</b> |              |
|                  | Teor             | 0,576        |          | 0,553 |              |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,365        |          |       | <b>0,000</b> | 0,582        | 0,551        |              |
|                  | fc               | 0,721        |          |       | <b>0,001</b> | 0,883        | 0,453        |              |
| ANOVA            | r                | 0,83         | 0,20     | 0,17  | 0,80         | 0,75         | 0,99         | 1,00         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,69         | 0,04     | 0,03  | 0,64         | 0,56         | 0,98         | 0,99         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 5,60         | 0,56     | 0,37  | 23,04        | 16,84        | 34,76        | 75,76        |
|                  | p                | <b>0,012</b> | 0,466    | 0,553 | <b>0,000</b> | <b>0,001</b> | <b>0,028</b> | <b>0,013</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67         | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

| A H <sub>2</sub> O | Modelo Geral     | Individual |          |       |              | Teor (m)     |              |              |
|--------------------|------------------|------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    |                  | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag  | fc           | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,748      | 0,383    |       |              |              | <b>0,035</b> | <b>0,017</b> |
|                    | Teor             | 0,821      |          | 0,468 |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | 0,192      |          |       | <b>0,014</b> |              | 0,768        | 0,495        |
|                    | fc               | 0,524      |          |       | <b>0,031</b> |              | 0,739        | 0,230        |
| ANOVA              | r                | 0,69       | 0,24     | 0,20  | 0,62         | 0,56         | 0,99         | 0,99         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,47       | 0,06     | 0,04  | 0,38         | 0,31         | 0,99         | 0,98         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 2,22       | 0,81     | 0,56  | 8,04         | 5,88         | 59,03        | 35,51        |
|                    | p                | 0,139      | 0,383    | 0,468 | <b>0,014</b> | <b>0,031</b> | <b>0,017</b> | <b>0,028</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 3,48       | 4,67     | 4,67  | 4,67         | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

| P Cl-     | Modelo Geral     | Individual   |          |       |       | Teor (m)     |              |              |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,001</b> | 0,058    |       |       | <b>0,030</b> | <b>0,004</b> |              |
|           | Teor             | <b>0,019</b> |          | 0,357 |       |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,982        |          |       | 0,228 |              | 0,630        | 0,377        |
|           | fc               | 0,478        |          |       |       | 0,307        | 0,459        | 0,783        |
| ANOVA     | r                | 0,90         | 0,50     | 0,26  | 0,33  | 0,28         | 0,99         | 1,00         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,81         | 0,25     | 0,07  | 0,11  | 0,08         | 0,99         | 1,00         |
|           | F <sub>cal</sub> | 10,52        | 4,34     | 0,91  | 1,60  | 1,13         | 50,68        | 193,42       |
|           | p                | <b>0,001</b> | 0,058    | 0,357 | 0,228 | 0,307        | <b>0,019</b> | <b>0,005</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67  | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

| P O <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |              |              |       | Teor (m)     |       |       |
|------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|-------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc    | 50%          | 70%   |       |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,244        | <b>0,042</b> |              |       |              | 0,660 | 0,068 |
|                  | Teor             | 0,055        |              | <b>0,016</b> |       |              |       |       |
|                  | a/ag             | 0,094        |              |              | 0,225 |              | 0,912 | 0,060 |
|                  | fc               | 0,181        |              |              |       | 0,056        | 0,940 | 0,087 |
| ANOVA            | r                | 0,77         | 0,53         | 0,61         | 0,33  | 0,50         | 0,89  | 0,97  |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,59         | 0,28         | 0,37         | 0,11  | 0,25         | 0,80  | 0,94  |
|                  | F <sub>cal</sub> | 3,57         | 5,10         | 7,72         | 1,62  | 4,40         | 2,59  | 10,46 |
|                  | p                | <b>0,047</b> | <b>0,042</b> | <b>0,016</b> | 0,225 | <b>0,056</b> | 0,291 | 0,089 |
|                  | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67         | 4,67         | 4,67  | 4,67         | 19,16 | 19,16 |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| CH        | Modelo Geral     | Individual   |          |       |       | Teor (m)     |              |              |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,000</b> | 0,975    |       |       | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |              |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |          | 0,247 |       |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,081        |          |       | 0,962 | 0,705        | 0,180        |              |
|           | fc               | 0,211        |          |       |       | 0,372        | 0,633        | 0,240        |
| ANOVA     | r                | 1,00         | 0,01     | 0,32  | 0,01  | 0,25         | 1,00         | 1,00         |
|           | r <sup>2</sup>   | 1,00         | 0,00     | 0,10  | 0,00  | 0,06         | 1,00         | 1,00         |
|           | F <sub>cal</sub> | 7252         | 0,00     | 1,47  | 0,00  | 0,86         | 36887        | 7142         |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,975    | 0,247 | 0,962 | 0,372        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67  | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

| CI-/OH-   | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Teor (m)     |              |       |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|-------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | 50%          | 70%          |       |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,057        | 0,299    |       |              |              | 0,109        | 0,652 |
|           | Teor             | 0,433        |          | 0,595 |              |              |              |       |
|           | a/ag             | <b>0,029</b> |          |       |              | <b>0,003</b> | 0,234        | 0,499 |
|           | fc               | 0,240        |          |       |              |              | <b>0,025</b> | 0,300 |
| ANOVA     | r                | 0,88         | 0,29     | 0,15  | 0,72         | 0,57         | 0,99         | 0,96  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,77         | 0,08     | 0,02  | 0,51         | 0,33         | 0,97         | 0,92  |
|           | F <sub>cal</sub> | 8,49         | 1,17     | 0,30  | 13,78        | 6,38         | 21,74        | 7,28  |
|           | p                | <b>0,003</b> | 0,299    | 0,595 | <b>0,003</b> | <b>0,025</b> | <b>0,044</b> | 0,123 |
|           | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67         | 4,67         | 19,16        | 19,16 |

Tabela A.3.3 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 2CAL - Para misturas sem o uso da Cal Hidratada

| KCO <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Teor (m)     |              |              |
|------------------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | <b>0,010</b> | 0,423    |       |              | 0,126        | <b>0,012</b> |              |
|                  | Teor             | <b>0,014</b> |          | 0,652 |              |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,703        |          |       | <b>0,001</b> | 0,062        | 0,250        |              |
|                  | fc               | <b>0,037</b> |          |       |              | <b>0,004</b> | 0,278        | 0,600        |
| ANOVA            | r                | 0,89         | 0,22     | 0,13  | 0,75         | 0,70         | 0,99         | 0,99         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,80         | 0,05     | 0,02  | 0,57         | 0,48         | 0,97         | 0,99         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 10,04        | 0,68     | 0,21  | 17,11        | 12,19        | 23,05        | 47,10        |
|                  | p                | <b>0,002</b> | 0,423    | 0,652 | <b>0,001</b> | <b>0,004</b> | <b>0,042</b> | <b>0,021</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67         | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

| A H <sub>2</sub> O | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Teor (m)     |              |              |
|--------------------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | 50%          | 70%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | <b>0,037</b> | 0,255    |       |              | 0,241        | <b>0,008</b> |              |
|                    | Teor             | 0,051        |          | 0,365 |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | 0,483        |          |       | <b>0,025</b> | 0,444        | 0,791        |              |
|                    | fc               | <b>0,031</b> |          |       |              | <b>0,006</b> | 0,789        | 0,332        |
| ANOVA              | r                | 0,81         | 0,31     | 0,25  | 0,58         | 0,68         | 0,97         | 0,99         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,66         | 0,10     | 0,06  | 0,33         | 0,46         | 0,94         | 0,99         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 4,88         | 1,42     | 0,88  | 6,47         | 10,94        | 10,97        | 49,45        |
|                    | p                | <b>0,019</b> | 0,255    | 0,365 | <b>0,025</b> | <b>0,006</b> | 0,085        | <b>0,020</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67     | 4,67  | 4,67         | 4,67         | 19,16        | 19,16        |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| P Cl-     | Modelo Geral | Individual   |          |       |       | Teor (m) |              |
|-----------|--------------|--------------|----------|-------|-------|----------|--------------|
|           |              | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | 50%      | 70%          |
| Var. Ind. | Tipo         | <b>0,000</b> | 0,246    |       |       | 0,065    | <b>0,002</b> |
|           | Teor         | <b>0,000</b> |          | 0,929 |       |          |              |
|           | a/ag         | 0,324        |          |       | 0,369 | 0,365    | 0,065        |
|           | fc           | 0,973        |          |       |       | 0,108    | 0,597        |

| ANOVA | r                | 0,94         | 0,32  | 0,03  | 0,25  | 0,43  | 0,98  | 1,00         |
|-------|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
|       | r <sup>2</sup>   | 0,88         | 0,10  | 0,00  | 0,06  | 0,19  | 0,96  | 1,00         |
|       | F <sub>cal</sub> | 18,00        | 1,48  | 0,01  | 0,87  | 2,98  | 17,11 | 212,75       |
|       | p                | <b>0,000</b> | 0,246 | 0,929 | 0,369 | 0,108 | 0,056 | <b>0,005</b> |
|       | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 19,16 | 19,16        |

| CH        | Modelo Geral | Individual   |          |       |       | Teor (m)     |              |
|-----------|--------------|--------------|----------|-------|-------|--------------|--------------|
|           |              | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | 50%          | 70%          |
| Var. Ind. | Tipo         | <b>0,000</b> | 0,999    |       |       | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|           | Teor         | <b>0,000</b> |          | 0,233 |       |              |              |
|           | a/ag         | 0,097        |          |       | 0,994 | 0,460        | 0,063        |
|           | fc           | 0,298        |          |       |       | 0,169        | 0,688        |

| ANOVA | r                | 1,00         | 0,00  | 0,33  | 0,00  | 0,37  | 1,00         | 1,00         |
|-------|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|
|       | r <sup>2</sup>   | 1,00         | 0,00  | 0,11  | 0,00  | 0,14  | 1,00         | 1,00         |
|       | F <sub>cal</sub> | 175259       | 0,00  | 1,56  | 0,00  | 2,12  | 974204       | 1749509      |
|       | p                | <b>0,000</b> | 0,999 | 0,233 | 0,994 | 0,169 | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|       | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 19,16        | 19,16        |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| P O <sub>2</sub> | Modelo Geral | Individual   |              |              |    | Teor (m) |       |              |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|----------|-------|--------------|
|                  |              | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc | 50%      | 70%   |              |
| Var. Ind.        | Tipo         | 0,061        | <b>0,004</b> |              |    |          | 0,278 | 0,069        |
|                  | Teor         | <b>0,005</b> |              | <b>0,000</b> |    |          |       |              |
|                  | a/ag         | 0,056        |              |              |    | 0,316    | 0,372 | <b>0,031</b> |
|                  | fc           | 0,206        |              |              |    |          | 0,057 | 0,600        |

| ANOVA | r                | 0,91         | 0,70         | 0,81         | 0,28  | 0,50  | 0,89  | 0,99         |
|-------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|
|       | r <sup>2</sup>   | 0,82         | 0,48         | 0,66         | 0,08  | 0,25  | 0,79  | 0,98         |
|       | F <sub>cal</sub> | 11,33        | 12,17        | 25,25        | 1,09  | 4,35  | 2,52  | 26,11        |
|       | p                | <b>0,001</b> | <b>0,004</b> | <b>0,000</b> | 0,316 | 0,057 | 0,296 | <b>0,037</b> |
|       | F <sub>tab</sub> | 3,48         | 4,67         | 4,67         | 4,67  | 4,67  | 19,16 | 19,16        |

| CI-/OH-   | Modelo Geral | Individual   |          |       |       | Teor (m)     |       |
|-----------|--------------|--------------|----------|-------|-------|--------------|-------|
|           |              | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc    | 50%          | 70%   |
| Var. Ind. | Tipo         | <b>0,033</b> | 0,366    |       |       | 0,030        | 0,088 |
|           | Teor         | <b>0,045</b> |          | 0,659 |       |              |       |
|           | a/ag         | 0,608        |          |       | 0,098 | <b>0,003</b> | 0,333 |
|           | fc           | 0,124        |          |       |       | 0,103        | 0,406 |

| ANOVA | r                | 0,72  | 0,25  | 0,12  | 0,44  | 0,44  | 1,00         | 0,96  |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|       | r <sup>2</sup>   | 0,52  | 0,06  | 0,02  | 0,20  | 0,19  | 1,00         | 0,93  |
|       | F <sub>cal</sub> | 2,66  | 0,88  | 0,20  | 3,18  | 3,08  | 1385         | 8,45  |
|       | p                | 0,095 | 0,366 | 0,659 | 0,098 | 0,103 | <b>0,001</b> | 0,108 |
|       | F <sub>tab</sub> | 3,48  | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 4,67  | 19,16        | 19,16 |

Tabela A.3.4 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas com e sem cal hidratada e adições minerais

| Variáveis                 | Modelo Geral | Individual |            |                            |                             | Referência   |               | Tipo (m)    |            |             |             |             | Teor (m)    |             |             |
|---------------------------|--------------|------------|------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           |              | Tipo (i)   | Teor (i)   | a/ag                       | fc                          | a/ag         | fc            | CV          | CCA        | E           | CV-CCA      | CV-E        | 50%         | 70%         | 90%         |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | <i>rrr</i>   | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr'</i>  | <i>rrr</i>    | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i> | rr          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i><br><b>34,14</b> | <i>ppp</i><br><b>-0,19</b>  | p            | p             | pp          | pp         | p           | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | pp          |
|                           |              |            |            |                            |                             | 17,15        | -0,11         |             |            |             |             |             |             |             |             |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | rr           | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr'</i>  | <i>rrr</i>    | <i>rrr</i>  | rr         | rr          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | pp         | p          | <i>ppp</i><br><b>7870</b>  | <i>ppp</i><br><b>-52,67</b> | <i>ppp</i>   | p             | pp          | p          | p           | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            |                            |                             | 1691         | -11,41        |             |            |             |             |             |             |             |             |
| P Cl-<br>C.A              | <i>rrr</i>   | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | r          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i> | p          | p                          | <i>ppp</i>                  | <i>ppp</i>   | p             | <i>ppp</i>  | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 1112                       | -5,88                       | <b>3770</b>  | <b>-26,46</b> |             |            |             |             |             |             |             |             |
| P O <sub>2</sub><br>C.A   | r            | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr</i>   | rr            | rr          | rr         | r           | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | r           | r           | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i> | <i>ppp</i> | p                          | <i>ppp</i>                  | p            | p             | p           | p          | p           | p           | <i>ppp</i>  | p           | p           | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | <b>403</b>                 | <b>-4,49</b>                | 212          | -1,28         |             |            |             |             |             |             |             |             |
| CH<br>C.A                 | <i>rrr</i>   | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr'</i>  | <i>rrr</i>    | rr          | -          | r           | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | pp         | p                          | p                           | pp           | p             | p           | -          | p           | <i>ppp</i>  | p           | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | p           |
|                           |              |            |            | 4,84                       | <b>0,97</b>                 | <b>27,65</b> | -0,18         |             |            |             |             |             |             |             |             |
| Cl-/OH-<br>C.A            | r            | r          | r          | r                          | r                           | <i>rrr'</i>  | <i>rrr</i>    | rr          | <i>rrr</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | r           | <i>rrr</i>  | rr          | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | pp                         | <i>ppp</i>                  | p            | p             | p           | p          | <i>ppp</i>  | p           | p           | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | p           |
|                           |              |            |            | <b>5,79</b>                | <b>-0,04</b>                | 3,7          | -0,02         |             |            |             |             |             |             |             |             |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.3.5 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas com cal hidratada e adições minerais

| Variáveis                 | Modelo Geral       | Individual      |                 |                           |                            | Referência                 |                     | Teor (m)           |                    |
|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                           |                    | Tipo (i)        | Teor (i)        | a/ag                      | fc                         | a/ag                       | fc                  | 50%                | 70%                |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | rr<br><b>ppp</b>   | r<br>p          | r<br>p          | rr<br><b>ppp</b><br>24,46 | rr<br><b>ppp</b><br>-0,12  | rrr'<br>p<br>17,15         | rrr'<br>p<br>-0,11  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | r<br>p             | r<br>p          | r<br>p          | rr<br><b>ppp</b><br>5748  | rr<br><b>ppp</b><br>-27,43 | rrr'<br><b>ppp</b><br>1691 | rrr'<br>p<br>-11,41 | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| P Cl-<br>C.A              | rrr<br><b>ppp</b>  | r<br>pp         | r<br>p          | r<br>p<br>1136            | r<br>p<br>-5,12            | rrr'<br><b>ppp</b><br>3770 | rrr'<br>p<br>-26,46 | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| P O <sub>2</sub><br>C.A   | rr<br><b>ppp</b>   | r<br><b>ppp</b> | r<br><b>ppp</b> | r<br>p<br>150,9           | r<br><b>ppp</b><br>-1,20   | rrr'<br>p<br>212           | rr<br>p<br>-1,28    | rrr'<br>p          | rrr'<br>pp         |
| CH<br>coef. ang.          | rrr'<br><b>ppp</b> | r<br>p          | r<br>p          | r<br>p<br>8,34            | r<br>p<br><b>0,81</b>      | rrr'<br>pp<br>27,7         | rrr'<br>p<br>-0,18  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| Cl-/OH-<br>C.A            | rrr<br><b>ppp</b>  | r<br>p          | r<br>p          | rr<br><b>ppp</b><br>2,56  | r<br><b>ppp</b><br>-0,011  | rrr'<br>p<br>3,7           | rrr'<br>p<br>-0,02  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br>p          |

Tabela A.3.6 – Resultados do Projeto 2CAL, após a análise estatística para as misturas sem cal hidratada e adições minerais

| Variáveis                 | Modelo Geral       | Individual      |                  |                          |                           | Referência                 |                     | Teor (m)           |                    |
|---------------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                           |                    | Tipo (i)        | Teor (i)         | a/ag                     | fc                        | a/ag                       | fc                  | 50%                | 70%                |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | rrr<br><b>ppp</b>  | r<br>p          | r<br>p           | r<br><b>ppp</b><br>43,82 | r<br><b>ppp</b><br>-0,22  | rrr'<br>p<br>17,15         | rrr'<br>p<br>-0,11  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | rr<br><b>ppp</b>   | r<br>p          | r<br>p           | r<br><b>ppp</b><br>9992  | r<br><b>ppp</b><br>-63,35 | rrr'<br><b>ppp</b><br>1691 | rrr'<br>p<br>-11,41 | rrr'<br>pp         | rrr'<br><b>ppp</b> |
| P Cl-<br>C.A              | rrr<br><b>ppp</b>  | r<br>p          | r<br>p           | r<br>p<br>1089           | r<br>p<br>-10,16          | rrr'<br><b>ppp</b><br>3770 | rrr'<br>p<br>-26,46 | rrr'<br>pp         | rrr'<br><b>ppp</b> |
| P O <sub>2</sub><br>C.A   | rrr<br><b>ppp</b>  | r<br><b>ppp</b> | rr<br><b>ppp</b> | r<br>p<br>657            | r<br>pp<br>-6,41          | rrr'<br>p<br>212           | rr<br>p<br>-1,28    | rrr'<br>p          | rrr'<br><b>ppp</b> |
| CH<br>C.A                 | rrr'<br><b>ppp</b> | r<br>p          | r<br>p           | r<br>p<br>1,35           | r<br>p<br><b>1,25</b>     | rrr'<br>pp<br>27,7         | rrr'<br>p<br>-0,18  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br><b>ppp</b> |
| Cl-/OH-<br>C.A            | rr<br>pp           | r<br>p          | r<br>p           | r<br>pp<br><b>9,02</b>   | r<br>p<br><b>-0,05</b>    | rrr'<br>p<br>3,7           | rrr'<br>p<br>-0,02  | rrr'<br><b>ppp</b> | rrr'<br>p          |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla



Tabela A.4 - Resultados aos 91 dias do Projeto 3ATI

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Coeficiente de Carbonatação | Absorção Capilar | Penetração de Cloretos | Teor de Cloretos Retidos | Relação Cl-/OH- |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|
|                        |                | a/ag                       | fc (Mpa)                 | KCO2                        | A H2O            | P Cl-                  | T Cl-                    |                 |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 76,10                    | 0,100                       | 1093,33          | 1288                   | 0,178                    | 1,82            |
| Ref                    | 0              | 0,50                       | 53,50                    | 5,473                       | 2393,51          | 2136                   | 0,193                    | 2,48            |
| Ref                    | 0              | 0,65                       | 31,90                    | 16,010                      | 5034,70          | 2866                   | 0,224                    | 3,89            |
| E                      | 70             | 0,35                       | 52,70                    | 3,514                       | 425,83           | 538                    | 0,071                    | 1,15            |
| E                      | 70             | 0,50                       | 38,00                    | 11,146                      | 1034,04          | 618                    | 0,086                    | 1,71            |
| E                      | 70             | 0,65                       | 31,30                    | 16,934                      | 2105,85          | 757                    | 0,193                    | 4,73            |
| E Na2SO4 4%            | 70             | 0,35                       | 69,20                    | 7,158                       | 597,36           | 424                    | 0,010                    | 0,09            |
| E Na2SO4 4%            | 70             | 0,50                       | 47,00                    | 13,584                      | 1062,45          | 515                    | 0,010                    | 0,18            |
| E Na2SO4 4%            | 70             | 0,65                       | 37,90                    | 17,566                      | 1497,69          | 561                    | 0,010                    | 0,19            |
| E Al2SO4 2%            | 70             | 0,35                       | 62,60                    | 5,188                       | 328,00           | 468                    | 0,010                    | 0,15            |
| E Al2SO4 2%            | 70             | 0,50                       | 42,90                    | 10,242                      | 1001,03          | 544                    | 0,056                    | 0,97            |
| E Al2SO4 2%            | 70             | 0,65                       | 32,80                    | 13,916                      | 2152,45          | 656                    | 0,071                    | 1,70            |
| CCA                    | 20             | 0,35                       | 83,40                    | 0,100                       | 406,75           | 452                    | 0,102                    | 1,51            |
| CCA                    | 20             | 0,50                       | 53,90                    | 7,496                       | 1215,72          | 692                    | 0,102                    | 1,61            |
| CCA                    | 20             | 0,65                       | 33,60                    | 14,138                      | 2301,94          | 1176                   | 0,193                    | 3,27            |
| CCA Na2SO4 1%          | 20             | 0,35                       | 82,80                    | 4,257                       | 360,02           | 515                    | 0,040                    | 0,59            |
| CCA Na2SO4 1%          | 20             | 0,50                       | 56,50                    | 7,417                       | 814,33           | 630                    | 0,056                    | 0,89            |
| CCA Na2SO4 1%          | 20             | 0,65                       | 42,50                    | 10,729                      | 1365,16          | 760                    | 0,056                    | 0,93            |
| CCA K2SO4 1%           | 20             | 0,35                       | 91,00                    | 0,100                       | 663,93           | 326                    | 0,025                    | 0,35            |
| CCA K2SO4 1%           | 20             | 0,50                       | 71,80                    | 4,693                       | 1096,55          | 552                    | 0,040                    | 0,69            |
| CCA K2SO4 1%           | 20             | 0,65                       | 48,30                    | 10,676                      | 1429,07          | 818                    | 0,071                    | 1,32            |
| CCA Na2SiO3 1%         | 20             | 0,35                       | 77,50                    | 0,100                       | 417,54           | 342                    | 0,010                    | 0,15            |
| CCA Na2SiO3 1%         | 20             | 0,50                       | 53,80                    | 7,395                       | 749,89           | 578                    | 0,040                    | 0,62            |
| CCA Na2SiO3 1%         | 20             | 0,65                       | 45,10                    | 15,611                      | 1781,92          | 732                    | 0,056                    | 0,95            |
| CV                     | 20             | 0,35                       | 75,90                    | 0,100                       | 483,04           | 610                    | 0,147                    | 1,85            |
| CV                     | 20             | 0,50                       | 45,70                    | 7,850                       | 1326,65          | 1137                   | 0,147                    | 1,98            |
| CV                     | 20             | 0,65                       | 34,40                    | 15,118                      | 2944,33          | 1491                   | 0,193                    | 2,85            |
| CV Na2SiO3 2%          | 20             | 0,35                       | 80,00                    | 0,100                       | 571,20           | 660                    | 0,040                    | 0,59            |
| CV Na2SiO3 2%          | 20             | 0,50                       | 54,30                    | 7,223                       | 1537,20          | 1080                   | 0,056                    | 0,87            |
| CV Na2SiO3 2%          | 20             | 0,65                       | 33,30                    | 17,136                      | 3113,61          | 1311                   | 0,102                    | 1,61            |
| E-CCA                  | 50+20          | 0,35                       | 61,70                    | 6,580                       | 154,55           | 268                    | 0,010                    | 0,23            |
| E-CCA                  | 50+20          | 0,50                       | 52,50                    | 10,752                      | 820,80           | 333                    | 0,010                    | 0,72            |
| E-CCA                  | 50+20          | 0,65                       | 35,10                    | 17,311                      | 2382,95          | 356                    | 0,086                    | 11,07           |
| E-CCA Na2SO4 1%        | 50+20          | 0,35                       | 52,60                    | 7,045                       | 451,72           | 233                    | 0,010                    | 0,23            |
| E-CCA Na2SO4 1%        | 50+20          | 0,50                       | 40,60                    | 10,869                      | 584,84           | 270                    | 0,056                    | 2,08            |
| E-CCA Na2SO4 1%        | 50+20          | 0,65                       | 31,90                    | 17,047                      | 1045,17          | 390                    | 0,071                    | 2,76            |
| E-CCA K2SO4 1%         | 50+20          | 0,35                       | 57,20                    | 7,388                       | 453,67           | 207                    | 0,025                    | 0,39            |
| E-CCA K2SO4 1%         | 50+20          | 0,50                       | 40,60                    | 17,348                      | 644,04           | 252                    | 0,040                    | 0,94            |
| E-CCA K2SO4 1%         | 50+20          | 0,65                       | 32,80                    | 24,173                      | 1510,05          | 302                    | 0,132                    | 3,16            |

Tabela A.4.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas com e sem ativadores químicos

| KCO <sub>2</sub>   | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |
|--------------------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     | E            | CCA          | CV           | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | <b>0,022</b> | 0,390    |              |              |              |        |              |              |              |              |              | 0,734        | <b>0,050</b> |
|                    | Teor             | <b>0,000</b> |          | <b>0,014</b> |              |              |        |              |              |              |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | <b>0,000</b> |          |              | <b>0,000</b> | 0,118        |        | <b>0,003</b> | 0,094        | <b>0,034</b> | 0,310        | <b>0,012</b> | <b>0,002</b> |              |
|                    | fc               | 0,235        |          |              | <b>0,000</b> |              | 0,126  | 0,218        | 0,222        | 0,941        | 0,419        | 0,133        | 0,813        |              |
| ANOVA              | r                | 0,95         | 0,15     | 0,40         | 0,84         | 0,89         | 0,98   | 0,98         | 0,96         | 0,95         | 0,99         | 0,90         | 0,96         | 0,92         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,90         | 0,02     | 0,16         | 0,71         | 0,79         | 0,97   | 0,96         | 0,92         | 0,90         | 0,99         | 0,82         | 0,92         | 0,84         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 68,81        | 0,76     | 6,65         | 82,66        | 130,88       | 28,48  | 24,76        | 32,62        | 39,93        | 144,27       | 13,23        | 53,43        | 25,37        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,390    | <b>0,014</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,118  | 0,126        | <b>0,001</b> | <b>0,000</b> | <b>0,001</b> | <b>0,006</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 2,68         | 4,13     | 4,13         | 4,13         | 4,13         | 161,45 | 161,45       | 5,14         | 4,26         | 9,55         | 5,14         | 3,34         | 3,34         |
| A H <sub>2</sub> O | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |
|                    |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     | E            | CCA          | CV           | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,508        | 0,798    |              |              |              |        |              |              |              |              |              | 0,117        | 0,135        |
|                    | Teor             | <b>0,030</b> |          | 0,348        |              |              |        |              |              |              |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | <b>0,011</b> |          |              | <b>0,000</b> | 0,123        |        | <b>0,017</b> | 0,095        | <b>0,006</b> | 0,109        | 0,172        | <b>0,005</b> |              |
|                    | fc               | 0,160        |          |              | <b>0,000</b> |              | 0,132  | 0,910        | 0,806        | 0,059        | 0,594        | 0,346        | 0,681        |              |
| ANOVA              | r                | 0,86         | 0,04     | 0,16         | 0,84         | 0,67         | 0,98   | 0,98         | 0,95         | 0,89         | 1,00         | 0,83         | 0,89         | 0,89         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,74         | 0,00     | 0,03         | 0,70         | 0,45         | 0,96   | 0,96         | 0,90         | 0,80         | 0,99         | 0,69         | 0,78         | 0,80         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 22,51        | 0,07     | 0,91         | 78,90        | 28,10        | 25,92  | 22,67        | 27,61        | 18,00        | 189,65       | 6,69         | 17,02        | 18,38        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,798    | 0,348        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | 0,123  | 0,132        | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | <b>0,030</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 2,68         | 4,13     | 4,13         | 4,13         | 4,13         | 161,45 | 161,45       | 5,14         | 4,26         | 9,55         | 5,14         | 3,34         | 3,34         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| P CI-     | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |              | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |
|-----------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc           | E            | CCA          | CV           | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,008</b> | 0,236    |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,068        | <b>0,000</b> |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |          | <b>0,000</b> |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,063        |          | <b>0,004</b> |              | <b>0,027</b> |              | 0,753        | 0,743        | 0,404        | <b>0,014</b> | 0,414        | 0,389        |              |
|           | fc               | <b>0,000</b> |          |              | 0,057        |              | <b>0,019</b> | 0,054        | 0,119        | 0,443        | 0,104        | <b>0,009</b> | <b>0,083</b> |              |
| ANOVA     | r                | 0,87         | 0,20     | 0,56         | 0,47         | 0,32         | 1,00         | 1,00         | 0,89         | 0,89         | 0,98         | 0,89         | 0,89         | 0,97         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,75         | 0,04     | 0,31         | 0,22         | 0,10         | 1,00         | 1,00         | 0,80         | 0,79         | 0,96         | 0,79         | 0,78         | 0,95         |
|           | F <sub>cal</sub> | 23,22        | 1,46     | 15,27        | 9,72         | 3,88         | 537          | 1104         | 12,00        | 17,00        | 37,34        | 11,59        | 17,03        | 85,95        |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,236    | <b>0,000</b> | <b>0,004</b> | 0,057        | <b>0,027</b> | <b>0,019</b> | <b>0,008</b> | <b>0,001</b> | <b>0,008</b> | <b>0,009</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,68         | 4,13     | 4,13         | 4,13         | 4,13         | 161,45       | 161,45       | 5,14         | 4,26         | 9,55         | 5,14         | 3,34         | 3,34         |
| T CI-     | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |              | Tipo (m)     |              |              |              | Teor (m)     |              |              |
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc           | E            | CCA          | CV           | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,409        | 0,677    |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 0,426        | 0,411        |
|           | Teor             | <b>0,004</b> |          | 0,112        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,462        |          | <b>0,004</b> |              | 0,126        |              | 0,428        | 0,494        | 0,673        | 0,531        | 0,106        | 0,607        |              |
|           | fc               | <b>0,020</b> |          |              | <b>0,014</b> |              | 0,134        | 0,155        | 0,207        | 0,557        | 0,379        | <b>0,023</b> | 0,063        |              |
| ANOVA     | r                | 0,64         | 0,07     | 0,27         | 0,47         | 0,41         | 0,98         | 0,98         | 0,66         | 0,57         | 0,52         | 0,86         | 0,65         | 0,71         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,41         | 0,01     | 0,07         | 0,22         | 0,17         | 0,96         | 0,96         | 0,44         | 0,33         | 0,27         | 0,75         | 0,42         | 0,51         |
|           | F <sub>cal</sub> | 5,40         | 0,18     | 2,66         | 9,48         | 6,73         | 24,80        | 21,75        | 2,38         | 2,21         | 0,56         | 8,83         | 3,37         | 4,86         |
|           | p                | <b>0,002</b> | 0,677    | 0,112        | <b>0,004</b> | <b>0,014</b> | 0,126        | 0,134        | 0,174        | 0,166        | 0,620        | <b>0,016</b> | <b>0,049</b> | <b>0,016</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,68         | 4,13     | 4,13         | 4,13         | 4,13         | 161,45       | 161,45       | 5,14         | 4,26         | 9,55         | 5,14         | 3,34         | 3,34         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| CI-/OH-   | Modelo Geral     | Individual   |          |       |              | Referência   |        | Tipo (m) |       |       |       | Teor (m) |              |       |
|-----------|------------------|--------------|----------|-------|--------------|--------------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|--------------|-------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag  | fc           | a/ag         | fc     | E        | CCA   | CV    | E-CCA | 20%      | 70%          |       |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,349        | 0,412    |       |              |              |        |          |       |       |       |          | 0,251        | 0,454 |
|           | Teor             | 0,402        |          | 0,409 |              |              |        |          |       |       |       |          |              |       |
|           | a/ag             | 0,115        |          |       | <b>0,003</b> |              | 0,131  |          | 0,674 | 0,600 | 0,807 | 0,291    | 0,179        | 0,355 |
|           | fc               | 0,783        |          |       |              | <b>0,007</b> |        | 0,140    | 0,252 | 0,228 | 0,629 | 0,760    | <b>0,028</b> | 0,888 |
| ANOVA     | r                | 0,52         | 0,14     | 0,14  | 0,48         | 0,45         | 0,98   | 0,98     | 0,65  | 0,61  | 0,61  | 0,68     | 0,69         | 0,59  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,28         | 0,02     | 0,02  | 0,23         | 0,20         | 0,96   | 0,95     | 0,42  | 0,37  | 0,37  | 0,47     | 0,48         | 0,35  |
|           | F <sub>cal</sub> | 2,94         | 0,69     | 0,70  | 10,34        | 8,40         | 22,85  | 20,13    | 2,15  | 2,64  | 0,87  | 2,65     | 4,23         | 2,53  |
|           | p                | <b>0,036</b> | 0,412    | 0,409 | <b>0,003</b> | <b>0,007</b> | 0,131  | 0,140    | 0,198 | 0,125 | 0,502 | 0,150    | <b>0,025</b> | 0,099 |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,68         | 4,13     | 4,13  | 4,13         | 4,13         | 161,45 | 161,45   | 5,14  | 4,26  | 9,55  | 5,14     | 3,34         | 3,34  |

Tabela A.4.2 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas com ativadores químicos

| KCO <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Tipo (m)     |              |              | Teor (m) |              |              |
|------------------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | E            | CCA          | E-CCA        | 20%      | 70%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,112        | 0,420    |              |              |              |              |              | 0,892    | 0,064        |              |
|                  | Teor             | 0,012        |          | <b>0,027</b> |              |              |              |              |          |              |              |
|                  | a/ag             | <b>0,005</b> |          |              | <b>0,000</b> |              | 0,123        | 0,212        | 0,444    | 0,224        | <b>0,018</b> |
|                  | fc               | 0,667        |          |              |              | <b>0,000</b> | 0,477        | 0,456        | 0,876    | 0,259        | 0,260        |
| ANOVA            | r                | 0,93         | 0,17     | 0,45         | 0,80         | 0,89         | 0,94         | 0,93         | 0,89     | 0,94         | 0,92         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,87         | 0,03     | 0,20         | 0,64         | 0,80         | 0,88         | 0,86         | 0,80     | 0,88         | 0,84         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 31,73        | 0,68     | 5,60         | 38,40        | 86,04        | 11,19        | 18,18        | 5,86     | 20,29        | 13,90        |
|                  | p                | <b>0,000</b> | 0,420    | <b>0,027</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,041</b> | <b>0,003</b> | 0,092    | <b>0,000</b> | <b>0,002</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,90         | 4,30     | 4,30         | 4,30         | 4,30         | 9,55         | 5,14         | 9,55     | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| A H <sub>2</sub> O |                  | Modelo Geral | Individual |          |              |              | Tipo (m)     |              |       | Teor (m)     |              |
|--------------------|------------------|--------------|------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|
|                    |                  |              | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag         | fc           | E            | CCA          | E-CCA | 20%          | 70%          |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,459        | 0,844      |          |              |              |              |              |       | 0,075        | 0,203        |
|                    | Teor             | 0,133        |            | 0,441    |              |              |              |              |       |              |              |
|                    | a/ag             | 0,211        |            |          | <b>0,000</b> |              | 0,259        | <b>0,001</b> | 0,135 | 0,190        | 0,179        |
|                    | fc               | 0,313        |            |          |              | <b>0,002</b> | 0,949        | 0,047        | 0,307 | 0,947        | 0,907        |
| ANOVA              | r                | 0,82         | 0,04       | 0,16     | 0,79         | 0,60         | 0,93         | 0,97         | 0,92  | 0,88         | 0,90         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,67         | 0,00       | 0,03     | 0,62         | 0,36         | 0,87         | 0,94         | 0,85  | 0,77         | 0,80         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 9,70         | 0,04       | 0,62     | 36,44        | 12,26        | 10,36        | 43,32        | 8,67  | 9,03         | 10,78        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,844      | 0,441    | <b>0,000</b> | <b>0,002</b> | <b>0,045</b> | <b>0,000</b> | 0,057 | <b>0,006</b> | <b>0,003</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 2,90         | 4,30       | 4,30     | 4,30         | 4,30         | 9,55         | 5,14         | 9,55  | 4,07         | 4,07         |

| P Cl-     |                  | Modelo Geral | Individual |              |              |       | Tipo (m)     |              |       | Teor (m)     |              |
|-----------|------------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|
|           |                  |              | Tipo (i)   | Teor (i)     | a/ag         | fc    | E            | CCA          | E-CCA | 20%          | 70%          |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,016</b> | 0,356      |              |              |       |              |              |       | 0,139        | <b>0,000</b> |
|           | Teor             | <b>0,000</b> |            | <b>0,005</b> |              |       |              |              |       |              |              |
|           | a/ag             | 0,226        |            |              | <b>0,023</b> |       | 0,987        | 0,101        | 0,596 | 0,933        | 0,940        |
|           | fc               | <b>0,011</b> |            |              |              | 0,351 | 0,235        | 0,619        | 0,960 | 0,222        | 0,203        |
| ANOVA     | r                | 0,83         | 0,20       | 0,56         | 0,46         | 0,20  | 0,95         | 0,94         | 0,87  | 0,85         | 0,97         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,69         | 0,04       | 0,31         | 0,21         | 0,04  | 0,89         | 0,88         | 0,76  | 0,73         | 0,94         |
|           | F <sub>cal</sub> | 10,60        | 0,89       | 9,88         | 5,94         | 0,91  | 12,72        | 23,03        | 4,75  | 7,08         | 41,66        |
|           | p                | <b>0,000</b> | 0,356      | <b>0,005</b> | <b>0,023</b> | 0,351 | <b>0,034</b> | <b>0,002</b> | 0,118 | <b>0,012</b> | <b>0,000</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,90         | 4,30       | 4,30         | 4,30         | 4,30  | 9,55         | 5,14         | 9,55  | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| T Cl-     | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Tipo (m)     |       |              | Teor (m)     |              |              |
|-----------|------------------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | E            | CCA   | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,021</b> | 0,063        |       |              |              |       |              | 0,682        | 0,122        |              |
|           | Teor             | 0,719        |              | 0,558 |              |              |       |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,065        |              |       | <b>0,000</b> | 0,429        | 0,168 | 0,202        | 0,651        | 0,259        |              |
|           | fc               | 0,859        |              |       |              | <b>0,006</b> | 0,278 | 0,854        | 0,423        | 0,438        | 0,735        |
| ANOVA     | r                | 0,79         | 0,38         | 0,13  | 0,67         | 0,54         | 0,72  | 0,85         | 0,90         | 0,82         | 0,79         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,62         | 0,15         | 0,02  | 0,46         | 0,29         | 0,52  | 0,71         | 0,81         | 0,67         | 0,62         |
|           | F <sub>cal</sub> | 7,76         | 3,83         | 0,35  | 18,41        | 9,12         | 1,61  | 7,53         | 6,40         | 5,45         | 4,42         |
|           | p                | <b>0,001</b> | 0,063        | 0,558 | <b>0,000</b> | <b>0,006</b> | 0,335 | <b>0,023</b> | 0,083        | <b>0,025</b> | <b>0,041</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,90         | 4,30         | 4,30  | 4,30         | 4,30         | 9,55  | 5,14         | 9,55         | 4,07         | 4,07         |
| Cl-/OH-   | Modelo Geral     | Individual   |              |       |              | Tipo (m)     |       |              | Teor (m)     |              |              |
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag  | fc           | E            | CCA   | E-CCA        | 20%          | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,001</b> | <b>0,023</b> |       |              |              |       |              | 0,685        | 0,046        |              |
|           | Teor             | 0,088        |              | 0,425 |              |              |       |              |              |              |              |
|           | a/ag             | 0,007        |              |       | <b>0,001</b> | 0,567        | 0,087 | 0,214        | 0,336        | 0,163        |              |
|           | fc               | 0,221        |              |       |              | <b>0,001</b> | 0,353 | 0,646        | 0,685        | 0,650        | 0,650        |
| ANOVA     | r                | 0,83         | 0,46         | 0,17  | 0,64         | 0,62         | 0,72  | 0,88         | 0,95         | 0,85         | 0,85         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,68         | 0,21         | 0,03  | 0,41         | 0,38         | 0,51  | 0,77         | 0,91         | 0,73         | 0,73         |
|           | F <sub>cal</sub> | 10,23        | 6,01         | 0,66  | 15,45        | 13,75        | 1,58  | 10,02        | 14,82        | 7,21         | 7,21         |
|           | p                | <b>0,000</b> | <b>0,023</b> | 0,425 | <b>0,001</b> | <b>0,001</b> | 0,339 | <b>0,012</b> | <b>0,028</b> | <b>0,012</b> | <b>0,012</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 2,90         | 4,30         | 4,30  | 4,30         | 4,30         | 9,55  | 5,14         | 9,55         | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.4.3 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 3ATI - Para misturas sem ativadores químicos

| KCO <sub>2</sub>   |                  | Modelo       | Individual |              |              |              | Teor (m)     |              |
|--------------------|------------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    |                  | Geral        | Tipo (i)   | Teor (i)     | a/ag         | fc           | 20%          | 70%          |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,061        | 0,835      |              |              |              | 0,429        | 0,542        |
|                    | Teor             | <b>0,002</b> |            | 0,328        |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | <b>0,000</b> |            |              | <b>0,000</b> |              | <b>0,021</b> | 0,219        |
|                    | fc               | 0,115        |            |              |              | <b>0,000</b> | 0,890        | 0,772        |
| ANOVA              | r                | 0,99         | 0,07       | 0,31         | 0,94         | 0,92         | 1,00         | 0,99         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,99         | 0,00       | 0,10         | 0,88         | 0,85         | 1,00         | 0,98         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 150,72       | 0,05       | 1,06         | 75,55        | 57,34        | 381,81       | 31,21        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,835      | 0,328        | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,003</b> | <b>0,031</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 4,12         | 4,96       | 4,96         | 4,96         | 4,96         | 19,16        | 19,16        |
| A H <sub>2</sub> O |                  | Modelo       | Individual |              |              |              | Teor (m)     |              |
|                    |                  | Geral        | Tipo (i)   | Teor (i)     | a/ag         | fc           | 20%          | 70%          |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,791        | 0,978      |              |              |              | <b>0,024</b> | 0,603        |
|                    | Teor             | 0,130        |            | 0,608        |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | <b>0,009</b> |            |              | <b>0,000</b> |              | <b>0,009</b> | 0,605        |
|                    | fc               | 0,637        |            |              |              | <b>0,002</b> | <b>0,035</b> | 0,502        |
| ANOVA              | r                | 0,97         | 0,01       | 0,17         | 0,95         | 0,80         | 1,00         | 0,98         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,94         | 0,00       | 0,03         | 0,91         | 0,64         | 1,00         | 0,95         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 27,34        | 0,00       | 0,28         | 101,52       | 17,73        | 251,90       | 14,08        |
|                    | p                | <b>0,000</b> | 0,978      | 0,608        | <b>0,000</b> | <b>0,002</b> | <b>0,004</b> | 0,067        |
|                    | F <sub>tab</sub> | 4,12         | 4,96       | 4,96         | 4,96         | 4,96         | 19,16        | 19,16        |
| P Cl-              |                  | Modelo       | Individual |              |              |              | Teor (m)     |              |
|                    |                  | Geral        | Tipo (i)   | Teor (i)     | a/ag         | fc           | 20%          | 70%          |
| Var. Ind.          | Tipo             | 0,849        | 0,534      |              |              |              | 0,086        | 0,019        |
|                    | Teor             | <b>0,001</b> |            | <b>0,033</b> |              |              |              |              |
|                    | a/ag             | 0,228        |            |              | 0,072        |              | 0,220        | 0,101        |
|                    | fc               | <b>0,015</b> |            |              |              | 0,117        | 0,888        | 0,203        |
| ANOVA              | r                | 0,94         | 0,20       | 0,62         | 0,54         | 0,48         | 0,99         | 0,99         |
|                    | r <sup>2</sup>   | 0,88         | 0,04       | 0,38         | 0,29         | 0,23         | 0,97         | 0,99         |
|                    | F <sub>cal</sub> | 12,84        | 0,42       | 6,10         | 4,04         | 2,95         | 25,14        | 63,32        |
|                    | p                | <b>0,002</b> | 0,534      | <b>0,033</b> | 0,072        | 0,117        | <b>0,038</b> | <b>0,016</b> |
|                    | F <sub>tab</sub> | 4,12         | 4,96       | 4,96         | 4,96         | 4,96         | 19,16        | 19,16        |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

| T Cl-     | Modelo Geral     | Individual   |          |              |       | Teor (m) |       |       |
|-----------|------------------|--------------|----------|--------------|-------|----------|-------|-------|
|           |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc    | 20%      | 70%   |       |
| Var. Ind. | Tipo             | <b>0,083</b> | 0,216    |              |       | 0,302    | 0,264 |       |
|           | Teor             | <b>0,035</b> |          | <b>0,050</b> |       |          |       |       |
|           | a/ag             | 0,266        |          |              | 0,063 | 0,383    | 0,431 |       |
|           | fc               | 0,984        |          |              |       | 0,227    | 0,576 | 0,727 |
| ANOVA     | r                | 0,88         | 0,39     | 0,57         | 0,55  | 0,38     | 0,88  | 0,94  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,78         | 0,15     | 0,33         | 0,30  | 0,14     | 0,78  | 0,88  |
|           | F <sub>cal</sub> | 6,32         | 1,75     | 4,94         | 4,36  | 1,66     | 2,34  | 4,95  |
|           | p                | <b>0,018</b> | 0,216    | <b>0,050</b> | 0,063 | 0,227    | 0,314 | 0,173 |
|           | F <sub>tab</sub> | 4,12         | 4,96     | 4,96         | 4,96  | 4,96     | 19,16 | 19,16 |

| Cl-/OH-   | Modelo Geral     | Individual |          |       |              | Teor (m) |       |       |
|-----------|------------------|------------|----------|-------|--------------|----------|-------|-------|
|           |                  | Tipo (i)   | Teor (i) | a/ag  | fc           | 20%      | 70%   |       |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,785      | 0,569    |       |              |          |       |       |
|           | Teor             | 0,266      |          | 0,539 |              | 0,645    | 0,295 |       |
|           | a/ag             | 0,103      |          |       | <b>0,027</b> | 0,362    | 0,561 |       |
|           | fc               | 0,357      |          |       |              | 0,109    | 0,588 | 0,334 |
| ANOVA     | r                | 0,73       | 0,18     | 0,20  | 0,63         | 0,49     | 0,89  | 0,90  |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,54       | 0,03     | 0,04  | 0,40         | 0,24     | 0,79  | 0,80  |
|           | F <sub>cal</sub> | 2,04       | 0,35     | 0,40  | 6,72         | 3,10     | 2,54  | 2,71  |
|           | p                | 0,193      | 0,569    | 0,539 | <b>0,027</b> | 0,109    | 0,295 | 0,281 |
|           | F <sub>tab</sub> | 4,12       | 4,96     | 4,96  | 4,96         | 4,96     | 19,16 | 19,16 |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla



Tabela A.4.4 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas com e sem ativadores e adições minerais.

| Variáveis                 | Modelo Geral | Individual |            |             |                | Referência   |               | Tipo (m)    |             |             |            | Teor (m)    |             |
|---------------------------|--------------|------------|------------|-------------|----------------|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|                           |              | Tipo (i)   | Teor (i)   | a/ag        | fc             | a/ag         | fc            | E           | CCA         | CV          | E-CCA      | 20%         | 70%         |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | <i>rrr'</i>  | r          | r          | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>     | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>     | p            | p             | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 41,31       | -0,32          | <b>53,03</b> | <b>-0,36</b>  |             |             |             |            |             |             |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | <i>rrr</i>   | r          | r          | <i>rrr</i>  | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | rr         | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>     | p            | p             | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 5087        | -29,76         | <b>13137</b> | <b>-88,93</b> |             |             |             |            |             |             |
| P Cl-<br>C.A              | <i>rrr</i>   | r          | r          | r           | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | pp             | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i>    | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 1185        | -5,85          | <b>5260</b>  | <b>-35,71</b> |             |             |             |            |             |             |
| T Cl-<br>C.A              | r            | r          | r          | r           | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | r           | r           | r           | <i>rrr</i> | r           | rr          |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>     | p            | p             | p           | p           | p           | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | <b>0,20</b> | <b>-0,0013</b> | 0,15         | -0,001        |             |             |             |            |             |             |
| Cl-/OH-<br>C.A            | r            | r          | r          | r           | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | r           | r           | r           | r          | r           | r           |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>     | p            | p             | p           | p           | p           | p          | <i>ppp</i>  | pp          |
|                           |              |            |            | <b>7,57</b> | <b>-0,051</b>  | 6,90         | -0,047        |             |             |             |            |             |             |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.4.5 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas com ativadores e adições minerais.

| Variáveis                 | Modelo Geral | Individual |            |             |            | Referência  |               | Tipo (m)   |             |             | Teor (m)   |             |
|---------------------------|--------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|---------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|                           |              | Tipo (i)   | Teor (i)   | a/ag        | fc         | a/ag        | fc            | E          | CCA         | E-CCA       | 20%        | 70%         |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | <i>rrr</i>   | r          | r          | rr          | <i>rrr</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | p           | p             | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | <i>pp</i>   | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 39,8        | -0,32      | <b>53,0</b> | <b>-0,36</b>  |            |             |             |            |             |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | rr           | r          | r          | rr          | r          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | p           | p             | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | pp          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | <b>4188</b> | -22,9      | 13137       | <b>-88,93</b> |            |             |             |            |             |
| P Cl-<br>C.A              | rr           | r          | r          | r           | r          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>    | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | p           | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 981         | -3,06      | <b>5260</b> | <b>-35,71</b> |            |             |             |            |             |
| T Cl-<br>C.A              | rr           | r          | r          | r           | r          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   | rr         | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  | rr         | rr          |
|                           | <i>ppp</i>   | pp         | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | p           | p             | p          | <i>ppp</i>  | pp          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | <b>0,17</b> | -0,0009    | 0,15        | <b>-0,001</b> |            |             |             |            |             |
| Cl-/OH-<br>C.A            | rr           | r          | r          | r           | r          | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   | rr         | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i> | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i> | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | p           | p             | p          | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 4,20        | -0,029     | <b>6,90</b> | <b>-0,047</b> |            |             |             |            |             |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.4.6 – Resultados do Projeto 3ATI, após a análise estatística para as misturas sem ativadores e adições minerais

| Variáveis                 | Modelo Geral | Individual |            |              |                | Referência   |               | Teor (m)    |             |
|---------------------------|--------------|------------|------------|--------------|----------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
|                           |              | Tipo (i)   | Teor (i)   | a/ag         | fc             | a/ag         | fc            | 20%         | 70%         |
| KCO <sub>2</sub><br>C.A   | <i>rrr'</i>  | r          | r          | <i>rrr</i>   | <i>rrr</i>     | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i>     | p            | p             | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 44,34        | -0,33          | <b>53,0</b>  | <b>-0,36</b>  |             |             |
| A H <sub>2</sub> O<br>C.A | <i>rrr'</i>  | r          | r          | <i>rrr'</i>  | rr             | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | p          | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i>     | p            | p             | <i>ppp</i>  | pp          |
|                           |              |            |            | 6887         | -43,30         | <b>13137</b> | <b>-88,93</b> |             |             |
| P Cl-<br>C.A              | <i>rrr</i>   | r          | r          | r            | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | pp           | p              | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i>    | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i>  |
|                           |              |            |            | 1593         | -10,64         | <b>5260</b>  | <b>-35,71</b> |             |             |
| T Cl-<br>C.A              | <i>rrr</i>   | r          | r          | r            | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  |
|                           | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | pp           | p              | p            | p             | p           | p           |
|                           |              |            |            | <b>0,28</b>  | <b>-0,0014</b> | 0,15         | -0,001        |             |             |
| Cl-/OH-<br>C.A            | rr           | r          | r          | r            | r              | <i>rrr'</i>  | <i>rrr'</i>   | <i>rrr</i>  | <i>rrr</i>  |
|                           | p            | p          | p          | <i>ppp</i>   | p              | p            | p             | p           | p           |
|                           |              |            |            | <b>14,32</b> | <b>-0,082</b>  | 6,90         | -0,047        |             |             |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.5 - Resultados aos 91 dias do Projeto 4FIN

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Coeficiente de Carbonatação | Teor de Cloretos Retidos | Pentração de Cloretos | Permeabilidade ao Oxigênio | Teor de Hidróxido de Cálcio | Relação Iônica Cl-/OH- |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                        |                | a/ag                       | fc (Mpa)                 | KCO <sub>2</sub>            | T Cl-                    | P Cl-                 | P O <sub>2</sub>           | CH                          |                        |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 65,40                    | .                           | .                        | 1389                  | .                          | .                           | 0,82                   |
| Ref                    | 0              | 0,50                       | 49,10                    | .                           | .                        | 2055                  | .                          | .                           | 0,92                   |
| Ref                    | 0              | 0,65                       | 33,70                    | .                           | .                        | 2314                  | .                          | .                           | 1,08                   |
| E 300                  | 35             | 0,35                       | 61,70                    | .                           | .                        | 694                   | .                          | .                           | 0,56                   |
| E 300                  | 35             | 0,50                       | 48,20                    | .                           | .                        | 1275                  | .                          | .                           | 1,10                   |
| E 300                  | 35             | 0,65                       | 30,70                    | .                           | .                        | 1971                  | .                          | .                           | 1,58                   |
| E 500                  | 35             | 0,35                       | 65,70                    | .                           | .                        | 702                   | .                          | .                           | 0,74                   |
| E 500                  | 35             | 0,50                       | 51,90                    | .                           | .                        | 1475                  | .                          | .                           | 1,37                   |
| E 500                  | 35             | 0,65                       | 41,00                    | .                           | .                        | 2326                  | .                          | .                           | 2,00                   |
| E 700                  | 35             | 0,35                       | 73,80                    | .                           | .                        | 711                   | .                          | .                           | 0,83                   |
| E 700                  | 35             | 0,50                       | 57,70                    | .                           | .                        | 1537                  | .                          | .                           | 1,78                   |
| E 700                  | 35             | 0,65                       | 44,50                    | .                           | .                        | 2727                  | .                          | .                           | 2,05                   |
| E 300                  | 70             | 0,35                       | 50,30                    | .                           | .                        | 455                   | .                          | .                           | 0,41                   |
| E 300                  | 70             | 0,50                       | 39,20                    | .                           | .                        | 606                   | .                          | .                           | 0,64                   |
| E 300                  | 70             | 0,65                       | 20,90                    | .                           | .                        | 884                   | .                          | .                           | 0,94                   |
| E 500                  | 70             | 0,35                       | 52,70                    | .                           | .                        | 618                   | .                          | .                           | 0,51                   |
| E 500                  | 70             | 0,50                       | 41,20                    | .                           | .                        | 797                   | .                          | .                           | 0,70                   |
| E 500                  | 70             | 0,65                       | 31,10                    | .                           | .                        | 1057                  | .                          | .                           | 1,18                   |
| E 700                  | 70             | 0,35                       | 58,60                    | .                           | .                        | 665                   | .                          | .                           | 0,96                   |
| E 700                  | 70             | 0,50                       | 43,70                    | .                           | .                        | 982                   | .                          | .                           | 2,74                   |
| E 700                  | 70             | 0,65                       | 35,60                    | .                           | .                        | 1621                  | .                          | .                           | 3,72                   |

Tabela A.5.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 4FIN

| P         | Cl-              | Modelo<br>Geral | Individual   |              |              |            | Referência |          | Tipo (m) |       |          | Teor (m)     |              |
|-----------|------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|----------|----------|-------|----------|--------------|--------------|
|           |                  |                 | Tipo (i)     | Teor (i)     | a/ag         | fc         | a/ag       | fc       | E 300    | E 500 | E 700    | 35%          | 70%          |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,100           | 0,308        |              |              |            |            |          |          |       |          | 0,940        | 0,347        |
|           | Teor             | <b>0,035</b>    |              | <b>0,033</b> |              |            |            | 0,310    | 0,208    | 0,344 |          |              |              |
|           | a/ag             | 0,726           |              |              | <b>0,001</b> |            | 0,158      |          | 0,835    | 0,376 | 0,979    | 0,114        | 0,139        |
|           | fc               | 0,406           |              |              |              | 0,206      |            | 0,148    | 0,617    | 0,287 | 0,543    | 0,580        | 0,467        |
| ANOVA     | r                | 0,93            | 0,25         | 0,51         | 0,73         | 0,31       | 0,97       | 0,97     | 0,95     | 0,96  | 0,96     | 0,98         | 0,94         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,86            | 0,06         | 0,26         | 0,53         | 0,10       | 0,94       | 0,95     | 0,90     | 0,92  | 0,92     | 0,97         | 0,89         |
|           | F <sub>cal</sub> | 19,46           | 1,11         | 5,48         | 17,97        | 1,74       | 15,50      | 17,86    | 6,00     | 7,43  | 7,27     | 46,30        | 13,88        |
|           | p                | <b>0,000</b>    | 0,308        | <b>0,033</b> | <b>0,001</b> | 0,206      | 0,158      | 0,148    | 0,146    | 0,121 | 0,123    | <b>0,000</b> | <b>0,007</b> |
|           | F <sub>tab</sub> | 3,18            | 4,49         | 4,49         | 4,49         | 4,49       | 161,45     | 161,45   | 19,16    | 19,16 | 19,16    | 5,41         | 5,41         |
| CI-/OH-   | Modelo<br>Geral  | Individual      |              |              |              | Referência |            | Tipo (m) |          |       | Teor (m) |              |              |
|           |                  | Tipo (i)        | Teor (i)     | a/ag         | fc           | a/ag       | fc         | E 300    | E 500    | E 700 | 35%      | 70%          |              |
| Var. Ind. | Tipo             | 0,116           | <b>0,018</b> |              |              |            |            |          |          |       |          | 0,366        | 0,280        |
|           | Teor             | 0,753           |              | 0,957        |              |            |            | 0,348    | 0,244    | 0,440 |          |              |              |
|           | a/ag             | 0,736           |              |              | <b>0,008</b> |            | 0,084      |          | 0,920    | 0,613 | 0,420    | 0,260        | 0,597        |
|           | fc               | 0,761           |              |              |              | 0,199      |            | 0,095    | 0,720    | 0,397 | 0,690    | 0,918        | 0,878        |
| ANOVA     | r                | 0,82            | 0,55         | 0,01         | 0,60         | 0,32       | 0,99       | 0,99     | 0,97     | 0,98  | 0,94     | 0,98         | 0,85         |
|           | r <sup>2</sup>   | 0,67            | 0,30         | 0,00         | 0,36         | 0,10       | 0,98       | 0,98     | 0,94     | 0,96  | 0,88     | 0,96         | 0,73         |
|           | F <sub>cal</sub> | 6,49            | 6,97         | 0,00         | 9,00         | 1,79       | 56,33      | 44,47    | 10,19    | 15,15 | 5,04     | 39,77        | 4,40         |
|           | p                | <b>0,004</b>    | <b>0,018</b> | 0,957        | <b>0,008</b> | 0,199      | 0,084      | 0,095    | 0,091    | 0,063 | 0,170    | <b>0,001</b> | 0,072        |
|           | F <sub>tab</sub> | 3,18            | 4,49         | 4,49         | 4,49         | 4,49       | 161,45     | 161,45   | 19,16    | 19,16 | 19,16    | 5,41         | 5,41         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.5.2 – Resultados do Projeto 4FIN, após a análise estatística para as misturas com e sem adições minerais

| Variáveis      | Modelo Geral | Individual |            |             |              | Referência  |               |
|----------------|--------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
|                |              | Tipo (i)   | Teor (i)   | a/ag        | fc           | a/ag        | fc            |
| P Cl-<br>C.A   | <i>rrr</i>   | r          | r          | rr          | r            | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   |
|                | <i>ppp</i>   | p          | <i>ppp</i> | <i>ppp</i>  | p            | p           | p             |
|                |              |            |            | <b>3745</b> | -15,09       | 3083        | <b>-29,30</b> |
| CL-/OH-<br>C.A | rr           | r          | r          | r           | r            | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i>   |
|                | <i>ppp</i>   | <i>ppp</i> | p          | <i>ppp</i>  | p            | pp          | pp            |
|                |              |            |            | <b>4,14</b> | <b>-0,02</b> | 0,87        | -0,008        |

| Variáveis | Tipo (m)    |             |             | Teor (m)    |            |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|           | E 300       | E 500       | E 700       | 35%         | 70%        |
| P Cl-     | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i> |
|           | p           | p           | p           | <i>ppp</i>  | <i>ppp</i> |
| CL-/OH-   | <i>rrr'</i> | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i>  | <i>rrr'</i> | <i>rrr</i> |
|           | pp          | pp          | p           | <i>ppp</i>  | pp         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla

Tabela A.6 - Resultados aos 91 dias do Projeto 5CAR

| Tipo de Adição Mineral | Teor de Adição | Relação água / aglomerante | Resistência à Compressão | Coeficiente de Carbonatação | Teor de Hidróxido de Cálcio |
|------------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                        |                | a/ag                       | fc (Mpa)                 | KCO <sub>2</sub>            | CH                          |
| Ref                    | 0              | 0,35                       | 79,60                    | 0,01                        | 4,72                        |
| Ref                    | 0              | 0,45                       | 66,90                    | 0,20                        | 5,58                        |
| Ref                    | 0              | 0,55                       | 50,00                    | 5,25                        | 5,81                        |
| SA                     | 10             | 0,35                       | 91,70                    | 0,01                        | 3,57                        |
| SA                     | 10             | 0,45                       | 84,30                    | 0,02                        | 3,77                        |
| SA                     | 10             | 0,55                       | 62,20                    | 2,79                        | 4,25                        |
| SA                     | 10             | 0,65                       | .                        | 23,68                       | .                           |
| SA                     | 20             | 0,35                       | 82,90                    | 0,01                        | 1,50                        |
| SA                     | 20             | 0,45                       | 73,60                    | 0,40                        | 1,89                        |
| SA                     | 20             | 0,55                       | 69,20                    | 7,32                        | 3,30                        |
| SA                     | 20             | 0,65                       | .                        | 12,44                       | .                           |
| CV                     | 25             | 0,35                       | 74,50                    | 0,20                        | 3,83                        |
| CV                     | 25             | 0,45                       | 52,80                    | 3,59                        | 4,05                        |
| CV                     | 25             | 0,55                       | 46,00                    | 12,44                       | 4,28                        |
| CV                     | 50             | 0,35                       | 59,30                    | 7,84                        | 2,06                        |
| CV                     | 50             | 0,45                       | 45,30                    | 29,57                       | 2,16                        |
| CV                     | 50             | 0,55                       | 35,90                    | 29,58                       | 2,16                        |
| CCA                    | 25             | 0,35                       | 67,90                    | 0,15                        | 2,99                        |
| CCA                    | 25             | 0,45                       | 51,40                    | 3,01                        | 3,25                        |
| CCA                    | 25             | 0,55                       | 42,10                    | 11,35                       | 4,07                        |
| CCA                    | 50             | 0,35                       | 74,30                    | 14,47                       | 0,27                        |
| CCA                    | 50             | 0,45                       | 62,50                    | 26,38                       | 0,46                        |
| CCA                    | 50             | 0,55                       | 44,00                    | 44,78                       | 2,30                        |
| CV-SA                  | 15+10          | 0,35                       | 88,50                    | 0,15                        | 2,79                        |
| CV-SA                  | 15+10          | 0,45                       | 67,30                    | 3,21                        | 3,79                        |
| CV-SA                  | 15+10          | 0,55                       | 54,00                    | 16,25                       | 5,04                        |
| CV-SA                  | 30+20          | 0,35                       | 99,60                    | 4,38                        | 0,37                        |
| CV-SA                  | 30+20          | 0,45                       | 75,60                    | 18,43                       | 0,40                        |
| CV-SA                  | 30+20          | 0,55                       | 65,90                    | 42,00                       | 0,45                        |
| CV-CCA                 | 10+15          | 0,35                       | 61,90                    | 0,60                        | 3,17                        |
| CV-CCA                 | 10+15          | 0,45                       | 52,30                    | 3,84                        | 3,90                        |
| CV-CCA                 | 10+15          | 0,55                       | 38,80                    | 13,40                       | 4,10                        |
| CV-CCA                 | 20+30          | 0,35                       | 64,70                    | 11,89                       | 0,42                        |
| CV-CCA                 | 20+30          | 0,45                       | 47,20                    | 25,72                       | 0,64                        |
| CV-CCA                 | 20+30          | 0,55                       | 41,60                    | 25,72                       | 0,82                        |

Tabela A.6.1 - Resumo dos resultados obtidos do programa Statistica 6.0 para o Projeto 5CAR

| KCO <sub>2</sub> | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | SA     | CV           | Tipo (m)     |        |              | Teor (m)     |              |              |
|------------------|------------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     |        |              | CCA          | CV-SA  | CV-CCA       | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,470        | 0,158    |              |              |              |        |        |              |              |        |              |              | 0,543        | 0,618        |
|                  | Teor             | <b>0,000</b> |          | <b>0,000</b> |              |              |        | 0,392  | 0,280        | 0,098        | 0,708  | <b>0,001</b> |              |              |              |
|                  | a/ag             | <b>0,000</b> |          |              | <b>0,002</b> |              | 0,313  | 0,261  | 0,519        | 0,846        | 0,277  | <b>0,036</b> | <b>0,001</b> | <b>0,005</b> |              |
|                  | fc               | 0,953        |          |              |              | <b>0,003</b> |        | 0,261  | 0,557        | 0,872        | 0,526  | 0,505        | <b>0,010</b> | 0,381        | 0,858        |
| ANOVA            | r                | 0,91         | 0,26     | 0,73         | 0,53         | 0,52         | 0,88   | 0,92   | 0,86         | 0,93         | 0,97   | 0,95         | 1,00         | 0,95         | 0,88         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,83         | 0,07     | 0,54         | 0,28         | 0,27         | 0,78   | 0,84   | 0,75         | 0,87         | 0,94   | 0,91         | 1,00         | 0,90         | 0,78         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 30,01        | 2,10     | 32,73        | 11,14        | 10,57        | 3,49   | 5,30   | 1,97         | 4,60         | 10,79  | 6,57         | 500,60       | 23,87        | 9,47         |
|                  | p                | <b>0,000</b> | 0,158    | <b>0,000</b> | <b>0,002</b> | <b>0,003</b> | 0,313  | 0,261  | 0,354        | 0,184        | 0,086  | 0,135        | <b>0,002</b> | <b>0,000</b> | <b>0,005</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20         | 4,20         | 4,20         | 161,45 | 161,45 | 19,16        | 19,16        | 19,16  | 19,16        | 19,16        | 4,07         | 4,07         |
| CH               | Modelo Geral     | Individual   |          |              |              | Referência   |        | SA     | CV           | Tipo (m)     |        |              | Teor (m)     |              |              |
|                  |                  | Tipo (i)     | Teor (i) | a/ag         | fc           | a/ag         | fc     |        |              | CCA          | CV-S.A | CV-CCA       | 25%          | 50%          |              |
| Var. Ind.        | Tipo             | 0,802        | 0,167    |              |              |              |        |        |              |              |        |              |              | 0,655        | <b>0,011</b> |
|                  | Teor             | <b>0,000</b> |          | <b>0,000</b> |              |              |        | 0,054  | <b>0,010</b> | 0,164        | 0,126  | <b>0,004</b> |              |              |              |
|                  | a/ag             | 0,873        |          |              | 0,146        |              | 0,205  | 0,136  | 1,000        | 0,691        | 0,806  | 0,502        | <b>0,034</b> | 0,922        |              |
|                  | fc               | <b>0,002</b> |          |              |              | <b>0,272</b> |        | 0,257  | 0,361        | 0,596        | 0,431  | 0,992        | 0,849        | 0,638        | <b>0,050</b> |
| ANOVA            | r                | 0,89         | 0,26     | 0,78         | 0,27         | 0,21         | 0,95   | 0,92   | 0,98         | 1,00         | 0,98   | 0,97         | 1,00         | 0,81         | 0,87         |
|                  | r <sup>2</sup>   | 0,79         | 0,07     | 0,62         | 0,07         | 0,04         | 0,90   | 0,85   | 0,95         | 1,00         | 0,96   | 0,94         | 0,99         | 0,66         | 0,76         |
|                  | F <sub>cal</sub> | 23,91        | 2,01     | 44,82        | 2,24         | 1,26         | 8,98   | 5,48   | 12,93        | 139,31       | 15,47  | 10,88        | 86,25        | 5,07         | 8,58         |
|                  | p                | <b>0,000</b> | 0,167    | <b>0,000</b> | 0,146        | 0,272        | 0,205  | 0,257  | 0,073        | <b>0,007</b> | 0,061  | 0,085        | <b>0,011</b> | <b>0,030</b> | <b>0,007</b> |
|                  | F <sub>tab</sub> | 2,76         | 4,20     | 4,20         | 4,20         | 4,20         | 161,45 | 161,45 | 19,16        | 19,16        | 19,16  | 19,16        | 19,16        | 4,07         | 4,07         |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão linear múltipla



Tabela A.6.2 – Resultados do Projeto 5CAR, após a análise estatística para as misturas com e sem adições minerais

| Variáveis        | Modelo Geral             | Individual |                  |                 |                 | Referência       |                 |
|------------------|--------------------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                  |                          | Tipo (i)   | Teor (i)         | a/ag            | fc              | a/ag             | fc              |
| KCO <sub>2</sub> | <i>rrr</i><br><i>ppp</i> | r<br>p     | rr<br><i>ppp</i> | r<br><i>ppp</i> | r<br><i>ppp</i> | <i>rrr</i><br>p  | <i>rrr</i><br>p |
| C.A              |                          |            |                  | <b>82,96</b>    | <b>-0,40</b>    | 26,20            | -0,18           |
| CH               | <i>rrr</i><br><i>ppp</i> | r<br>p     | rr<br><i>ppp</i> | r<br>p          | r<br>p          | <i>rrr'</i><br>p | <i>rrr</i><br>p |
| C.A              |                          |            |                  | 4,90            | -0,018          | <b>5,45</b>      | <b>-0,036</b>   |

| Variáveis        | Tipo (m)          |                           |                   |                   |                           | Teor (m)                  |                          |
|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                  | SA                | CV                        | CCA               | CV-SA             | CV-CCA                    | 25%                       | 50%                      |
| KCO <sub>2</sub> | <i>rrr</i><br>p   | <i>rrr</i><br>p           | <i>rrr'</i><br>pp | <i>rrr'</i><br>p  | <i>rrr'</i><br><i>ppp</i> | <i>rrr'</i><br><i>ppp</i> | <i>rrr</i><br><i>ppp</i> |
| CH               | <i>rrr'</i><br>pp | <i>rrr'</i><br><i>ppp</i> | <i>rrr'</i><br>pp | <i>rrr'</i><br>pp | <i>rrr'</i><br><i>ppp</i> | rr<br><i>ppp</i>          | <i>rrr</i><br><i>ppp</i> |

Onde: (i) - regressão linear simples e (m) - regressão múltipla

## **ANEXO B**

---

TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE FISCHER

Tabela B.1 - Distribuição de Fisher - Valores de F Tabelado ( $F_{tab}$ ) para  $\alpha = 0,05$ 

| V2*      | Grau de liberdade do numerador (fatores) V1 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |
|----------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
|          | 1   | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 12     | 15     | 20     | 25     | 30     | 40     | 60     | 120    | $\infty$ |
| 1        | 161,45                                      | 199,50 | 215,71 | 224,58 | 230,16 | 233,99 | 236,77 | 238,88 | 240,54 | 241,88 | 243,90 | 245,95 | 248,02 | 249,26 | 250,10 | 251,14 | 252,20 | 253,25 | 254,32   |
| 2        | 18,51                                       | 19,00  | 19,16  | 19,25  | 19,30  | 19,33  | 19,35  | 19,37  | 19,38  | 19,40  | 19,41  | 19,43  | 19,45  | 19,46  | 19,46  | 19,47  | 19,48  | 19,49  | 19,50    |
| 3        | 10,13                                       | 9,55   | 9,28   | 9,12   | 9,01   | 8,94   | 8,89   | 8,85   | 8,81   | 8,79   | 8,74   | 8,70   | 8,66   | 8,63   | 8,62   | 8,59   | 8,57   | 8,55   | 8,53     |
| 4        | 7,71  | 6,94   | 6,59   | 6,39   | 6,26   | 6,16   | 6,09   | 6,04   | 6,00   | 5,96   | 5,91   | 5,86   | 5,80   | 5,77   | 5,75   | 5,72   | 5,69   | 5,66   | 5,63     |
| 5        | 6,61  | 5,79   | 5,41   | 5,19   | 5,05   | 4,95   | 4,88   | 4,82   | 4,77   | 4,74   | 4,68   | 4,62   | 4,56   | 4,52   | 4,50   | 4,46   | 4,43   | 4,40   | 4,37     |
| 6        | 5,99  | 5,14   | 4,76   | 4,53   | 4,39   | 4,28   | 4,21   | 4,15   | 4,10   | 4,06   | 4,00   | 3,94   | 3,87   | 3,83   | 3,81   | 3,77   | 3,74   | 3,70   | 3,67     |
| 7        | 5,59  | 4,74   | 4,35   | 4,12   | 3,97   | 3,87   | 3,79   | 3,73   | 3,68   | 3,64   | 3,57   | 3,51   | 3,44   | 3,40   | 3,38   | 3,34   | 3,30   | 3,27   | 3,23     |
| 8        | 5,32  | 4,46   | 4,07   | 3,84   | 3,69   | 3,58   | 3,50   | 3,44   | 3,39   | 3,35   | 3,28   | 3,22   | 3,15   | 3,11   | 3,08   | 3,04   | 3,01   | 2,97   | 2,93     |
| 9        | 5,12  | 4,26   | 3,86   | 3,63   | 3,48   | 3,37   | 3,29   | 3,23   | 3,18   | 3,14   | 3,07   | 3,01   | 2,94   | 2,89   | 2,86   | 2,83   | 2,79   | 2,75   | 2,71     |
| 10       | 4,96  | 4,10   | 3,71   | 3,48   | 3,33   | 3,22   | 3,14   | 3,07   | 3,02   | 2,98   | 2,91   | 2,85   | 2,77   | 2,73   | 2,70   | 2,66   | 2,62   | 2,58   | 2,54     |
| 11       | 4,84  | 3,98   | 3,59   | 3,36   | 3,20   | 3,09   | 3,01   | 2,95   | 2,90   | 2,85   | 2,79   | 2,72   | 2,65   | 2,60   | 2,57   | 2,53   | 2,49   | 2,45   | 2,40     |
| 12       | 4,75  | 3,89   | 3,49   | 3,26   | 3,11   | 3,00   | 2,91   | 2,85   | 2,80   | 2,75   | 2,69   | 2,62   | 2,54   | 2,50   | 2,47   | 2,43   | 2,38   | 2,34   | 2,30     |
| 13       | 4,67  | 3,81   | 3,41   | 3,18   | 3,03   | 2,92   | 2,83   | 2,77   | 2,71   | 2,67   | 2,60   | 2,53   | 2,46   | 2,41   | 2,38   | 2,34   | 2,30   | 2,25   | 2,21     |
| 14       | 4,60  | 3,74   | 3,34   | 3,11   | 2,96   | 2,85   | 2,76   | 2,70   | 2,65   | 2,60   | 2,53   | 2,46   | 2,39   | 2,34   | 2,31   | 2,27   | 2,22   | 2,18   | 2,13     |
| 15       | 4,54  | 3,68   | 3,29   | 3,06   | 2,90   | 2,79   | 2,71   | 2,64   | 2,59   | 2,54   | 2,48   | 2,40   | 2,33   | 2,28   | 2,25   | 2,20   | 2,16   | 2,11   | 2,07     |
| 16       | 4,49  | 3,63   | 3,24   | 3,01   | 2,85   | 2,74   | 2,66   | 2,59   | 2,54   | 2,49   | 2,42   | 2,35   | 2,28   | 2,23   | 2,19   | 2,15   | 2,11   | 2,06   | 2,01     |
| 17       | 4,45  | 3,59   | 3,20   | 2,96   | 2,81   | 2,70   | 2,61   | 2,55   | 2,49   | 2,45   | 2,38   | 2,31   | 2,23   | 2,18   | 2,15   | 2,10   | 2,06   | 2,01   | 1,96     |
| 18       | 4,41  | 3,55   | 3,16   | 2,93   | 2,77   | 2,66   | 2,58   | 2,51   | 2,46   | 2,41   | 2,34   | 2,27   | 2,19   | 2,14   | 2,11   | 2,06   | 2,02   | 1,97   | 1,92     |
| 19       | 4,38  | 3,52   | 3,13   | 2,90   | 2,74   | 2,63   | 2,54   | 2,48   | 2,42   | 2,38   | 2,31   | 2,23   | 2,16   | 2,11   | 2,07   | 2,03   | 1,98   | 1,93   | 1,88     |
| 20       | 4,35  | 3,49   | 3,10   | 2,87   | 2,71   | 2,60   | 2,51   | 2,45   | 2,39   | 2,35   | 2,28   | 2,20   | 2,12   | 2,07   | 2,04   | 1,99   | 1,95   | 1,90   | 1,84     |
| 21       | 4,32  | 3,47   | 3,07   | 2,84   | 2,68   | 2,57   | 2,49   | 2,42   | 2,37   | 2,32   | 2,25   | 2,18   | 2,10   | 2,05   | 2,01   | 1,96   | 1,92   | 1,87   | 1,81     |
| 22       | 4,30  | 3,44   | 3,05   | 2,82   | 2,66   | 2,55   | 2,46   | 2,40   | 2,34   | 2,30   | 2,23   | 2,15   | 2,07   | 2,02   | 1,98   | 1,94   | 1,89   | 1,84   | 1,78     |
| 23       | 4,28  | 3,42   | 3,03   | 2,80   | 2,64   | 2,53   | 2,44   | 2,37   | 2,32   | 2,27   | 2,20   | 2,13   | 2,05   | 2,00   | 1,96   | 1,91   | 1,86   | 1,81   | 1,76     |
| 24       | 4,26  | 3,40   | 3,01   | 2,78   | 2,62   | 2,51   | 2,42   | 2,36   | 2,30   | 2,25   | 2,18   | 2,11   | 2,03   | 1,97   | 1,94   | 1,89   | 1,84   | 1,79   | 1,73     |
| 25       | 4,24  | 3,39   | 2,99   | 2,76   | 2,60   | 2,49   | 2,40   | 2,34   | 2,28   | 2,24   | 2,16   | 2,09   | 2,01   | 1,96   | 1,92   | 1,87   | 1,82   | 1,77   | 1,71     |
| 26       | 4,23  | 3,37   | 2,98   | 2,74   | 2,59   | 2,47   | 2,39   | 2,32   | 2,27   | 2,22   | 2,15   | 2,07   | 1,99   | 1,94   | 1,90   | 1,85   | 1,80   | 1,75   | 1,69     |
| 27       | 4,21  | 3,35   | 2,96   | 2,73   | 2,57   | 2,46   | 2,37   | 2,31   | 2,25   | 2,20   | 2,13   | 2,06   | 1,97   | 1,92   | 1,88   | 1,84   | 1,79   | 1,73   | 1,67     |
| 28       | 4,20  | 3,34   | 2,95   | 2,71   | 2,56   | 2,45   | 2,36   | 2,29   | 2,24   | 2,19   | 2,12   | 2,04   | 1,96   | 1,91   | 1,87   | 1,82   | 1,77   | 1,71   | 1,65     |
| 29       | 4,18  | 3,33   | 2,93   | 2,70   | 2,55   | 2,43   | 2,35   | 2,28   | 2,22   | 2,18   | 2,10   | 2,03   | 1,94   | 1,89   | 1,85   | 1,81   | 1,75   | 1,70   | 1,64     |
| 30       | 4,17  | 3,32   | 2,92   | 2,69   | 2,53   | 2,42   | 2,33   | 2,27   | 2,21   | 2,16   | 2,09   | 2,01   | 1,93   | 1,88   | 1,84   | 1,79   | 1,74   | 1,68   | 1,62     |
| 40       | 4,08  | 3,23   | 2,84   | 2,61   | 2,45   | 2,34   | 2,25   | 2,18   | 2,12   | 2,08   | 2,00   | 1,92   | 1,84   | 1,78   | 1,74   | 1,69   | 1,64   | 1,58   | 1,51     |
| 60       | 4,00  | 3,15   | 2,76   | 2,53   | 2,37   | 2,25   | 2,17   | 2,10   | 2,04   | 1,99   | 1,92   | 1,84   | 1,75   | 1,69   | 1,65   | 1,59   | 1,53   | 1,47   | 1,39     |
| 120      | 3,92  | 3,07   | 2,68   | 2,45   | 2,29   | 2,18   | 2,09   | 2,02   | 1,96   | 1,91   | 1,83   | 1,75   | 1,66   | 1,60   | 1,55   | 1,50   | 1,43   | 1,35   | 1,25     |
| $\infty$ | 3,84  | 3,00   | 2,60   | 2,37   | 2,21   | 2,10   | 2,01   | 1,94   | 1,88   | 1,83   | 1,75   | 1,67   | 1,57   | 1,51   | 1,46   | 1,39   | 1,32   | 1,22   | 1,00     |

\* Grau de liberdade do residuo (erro)

# **ANEXO C**

---

REGRESSÕES LINEARES SIMPLES  
REGRESSÕES LINEARES MÚLTIPLAS

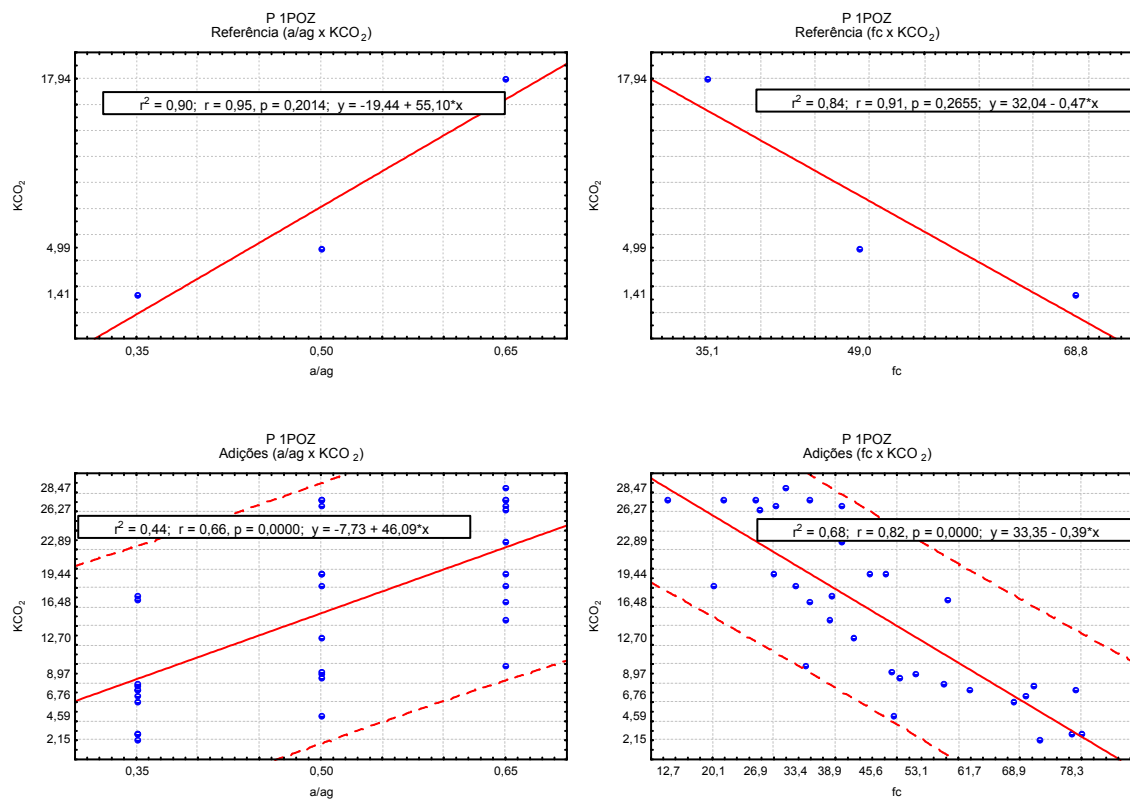
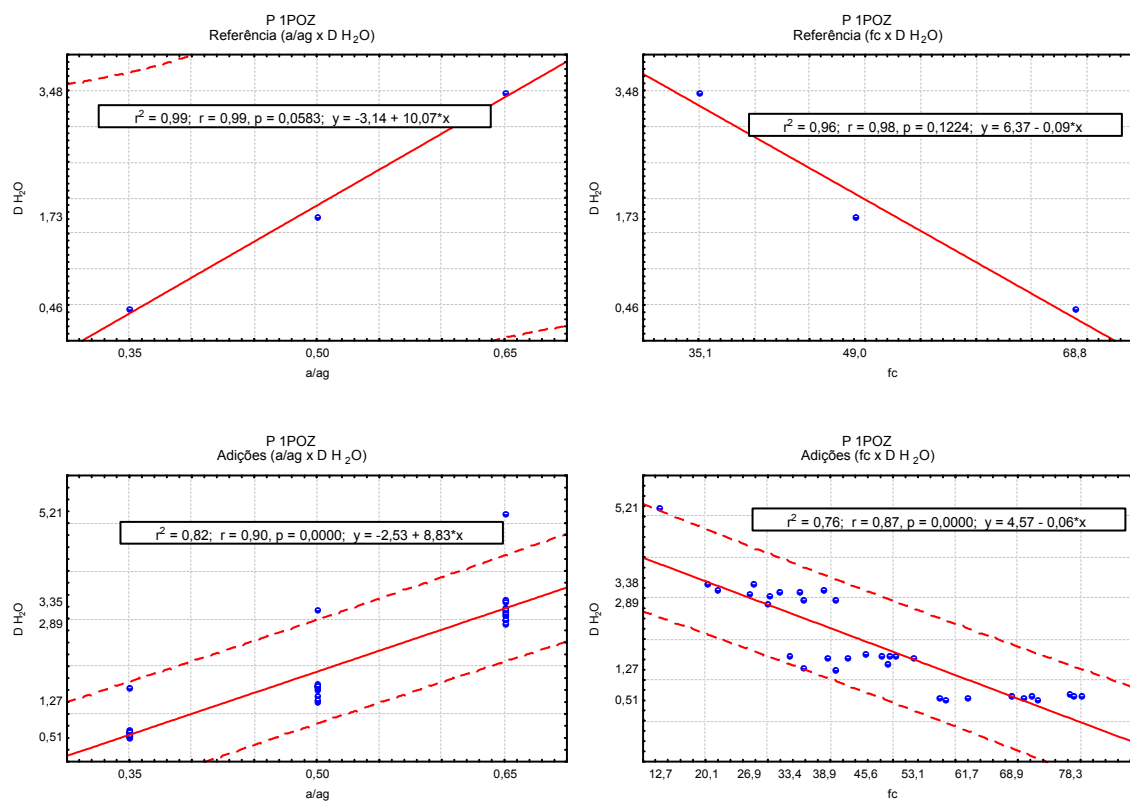
Figura C.1 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável  $KCO_2$ Figura C.2 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável  $D H_2O$ 

Figura C.3 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável P Cl<sup>-</sup>

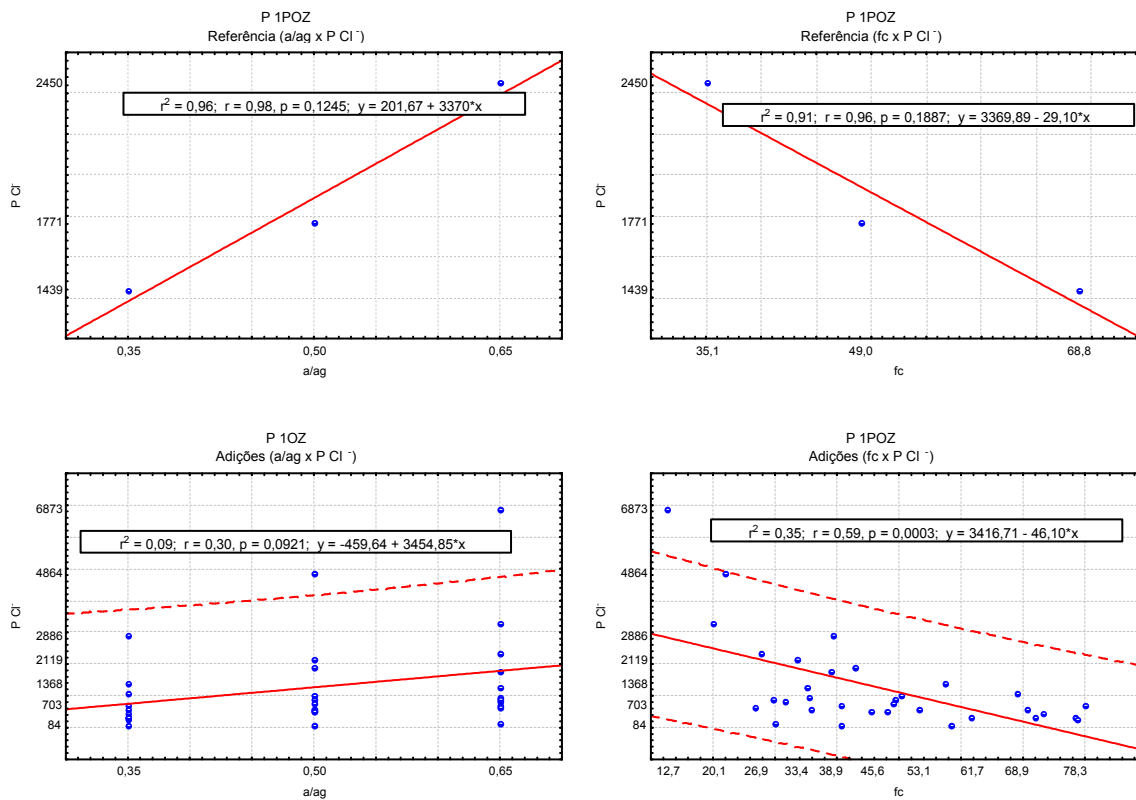


Figura C.4 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável T Cl<sup>-</sup>

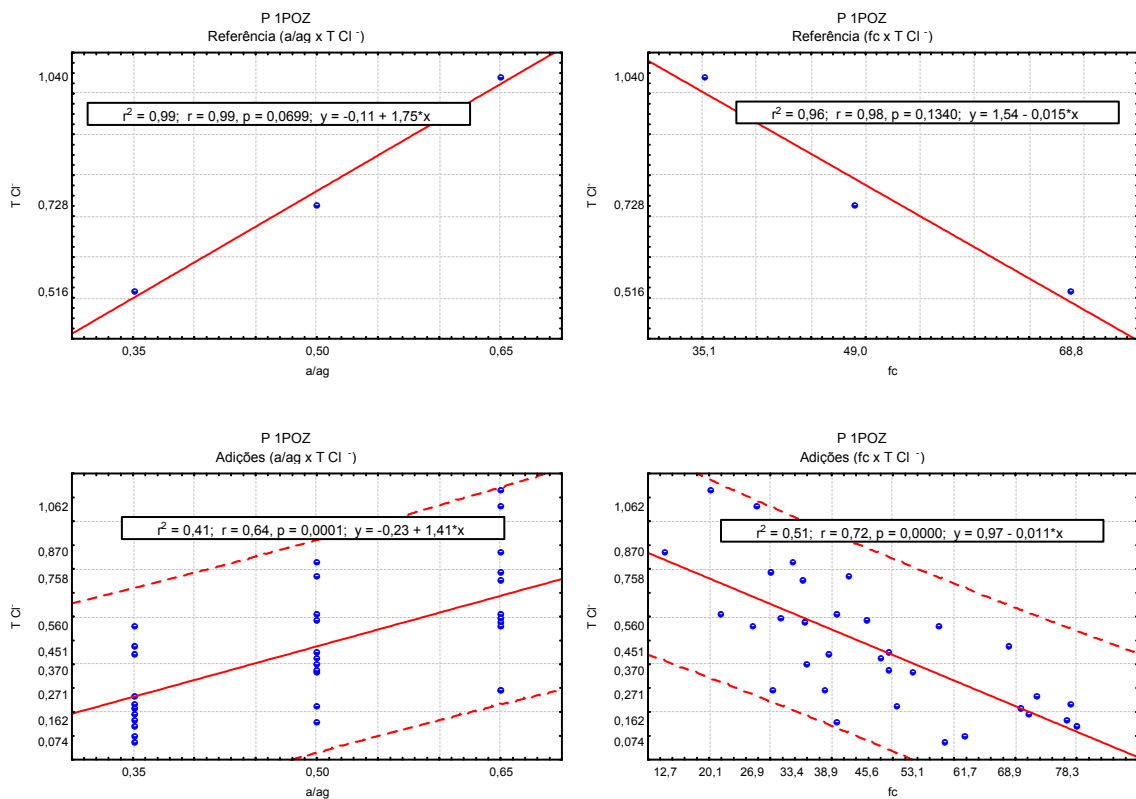


Figura C.5 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável CH

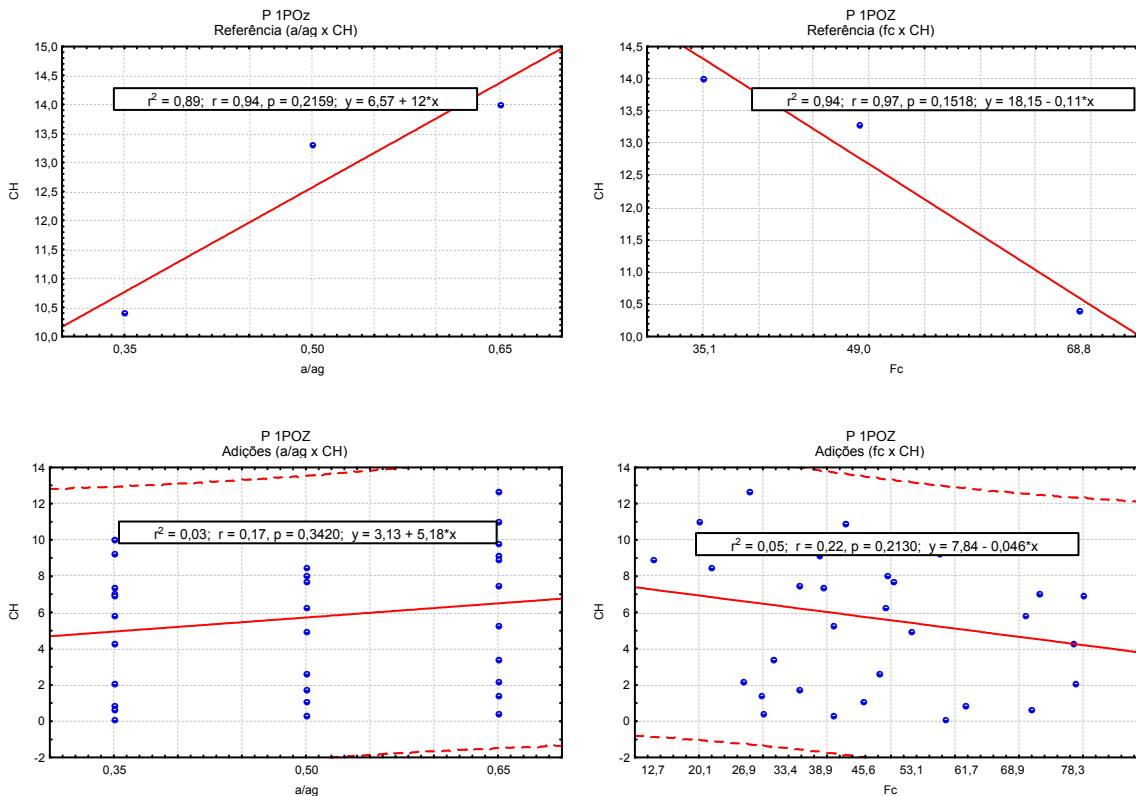


Figura C.6 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável AC

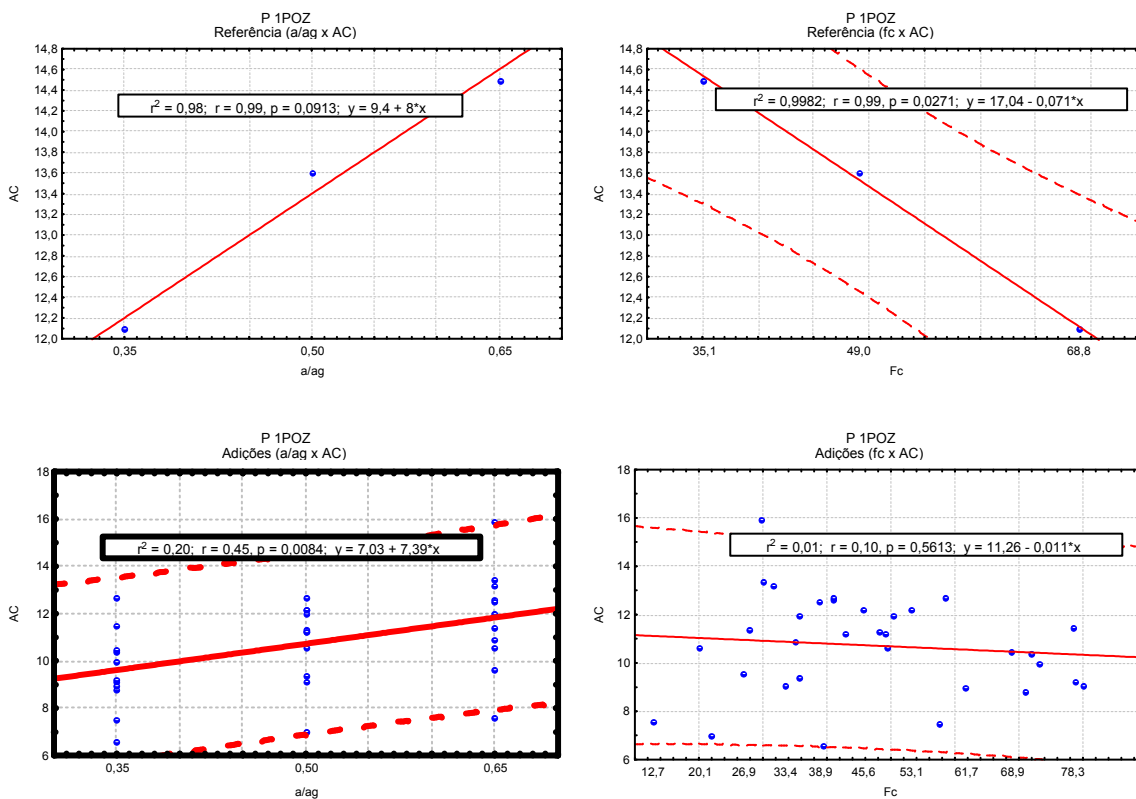


Figura C.7 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável VTI

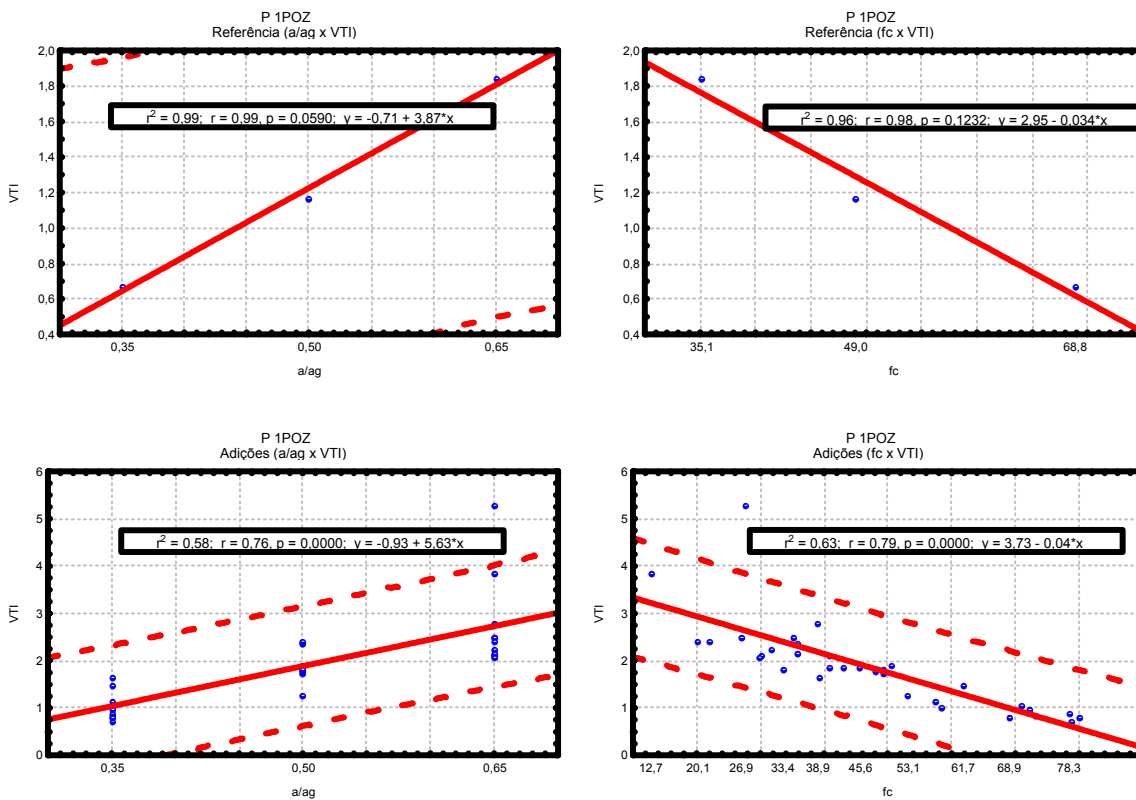


Figura C.8 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável ATP

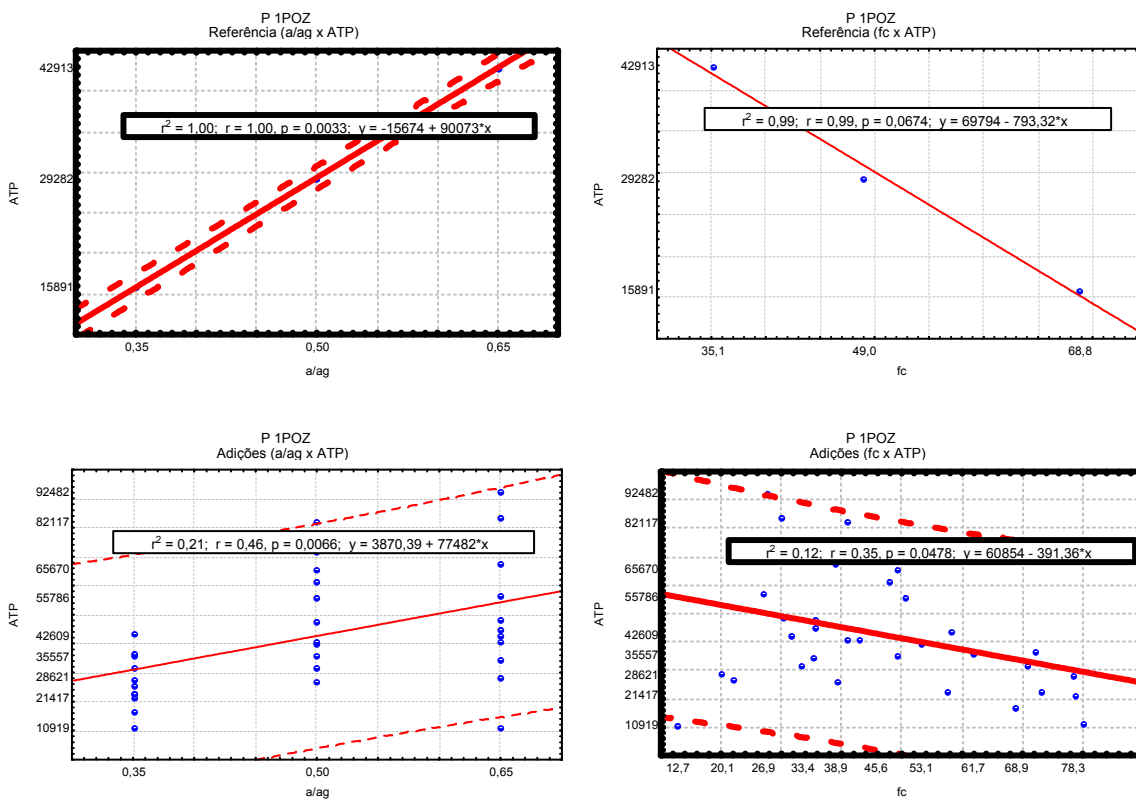




Figura C.9 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável DMP

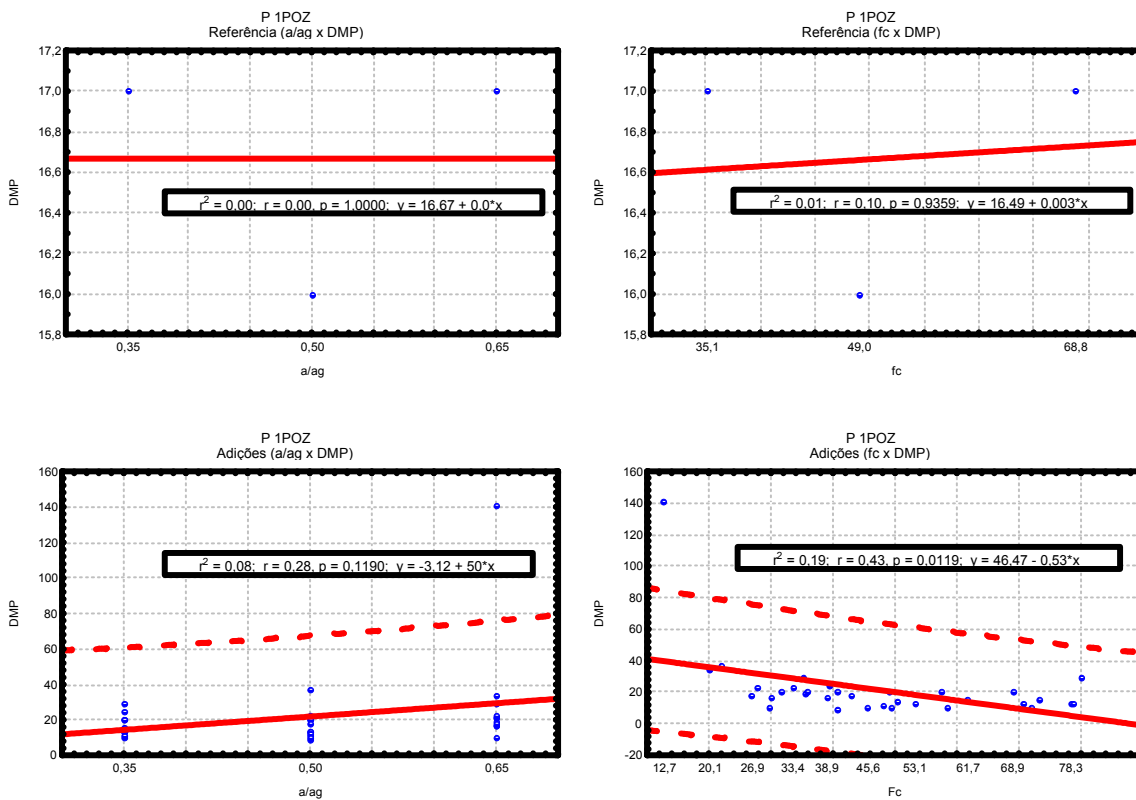


Figura C.10 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável PT

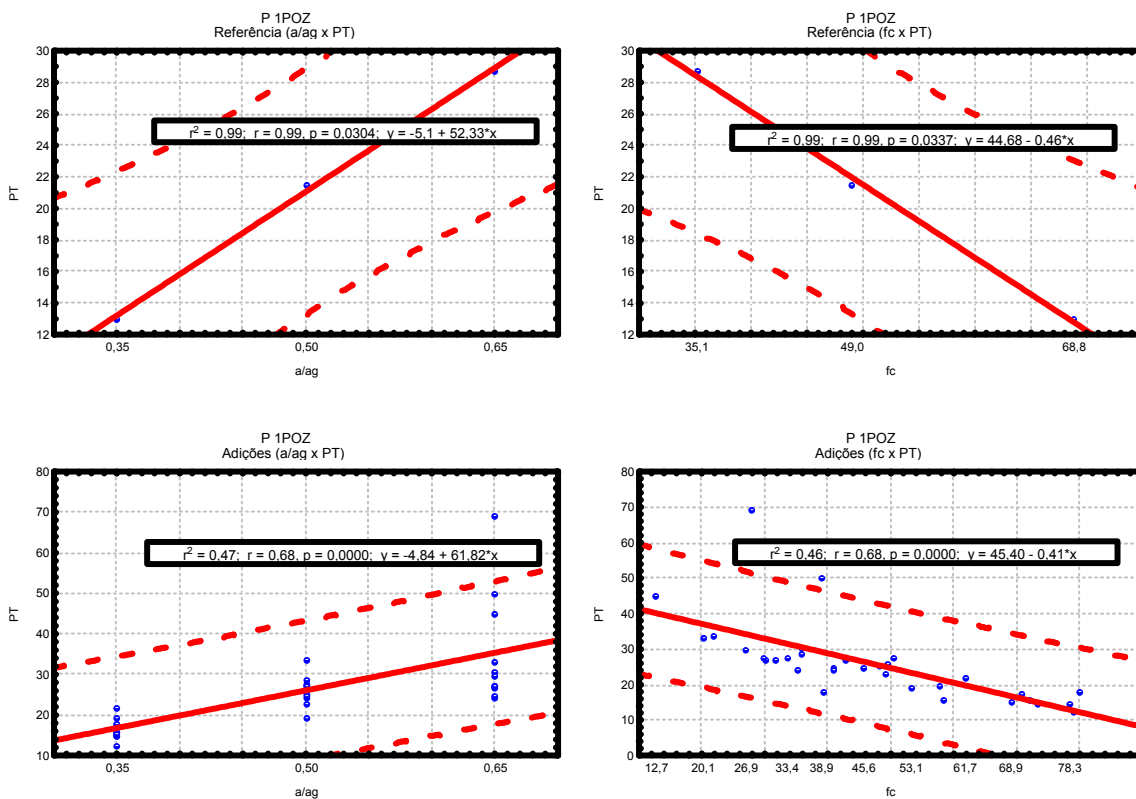


Figura C.11 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável DC

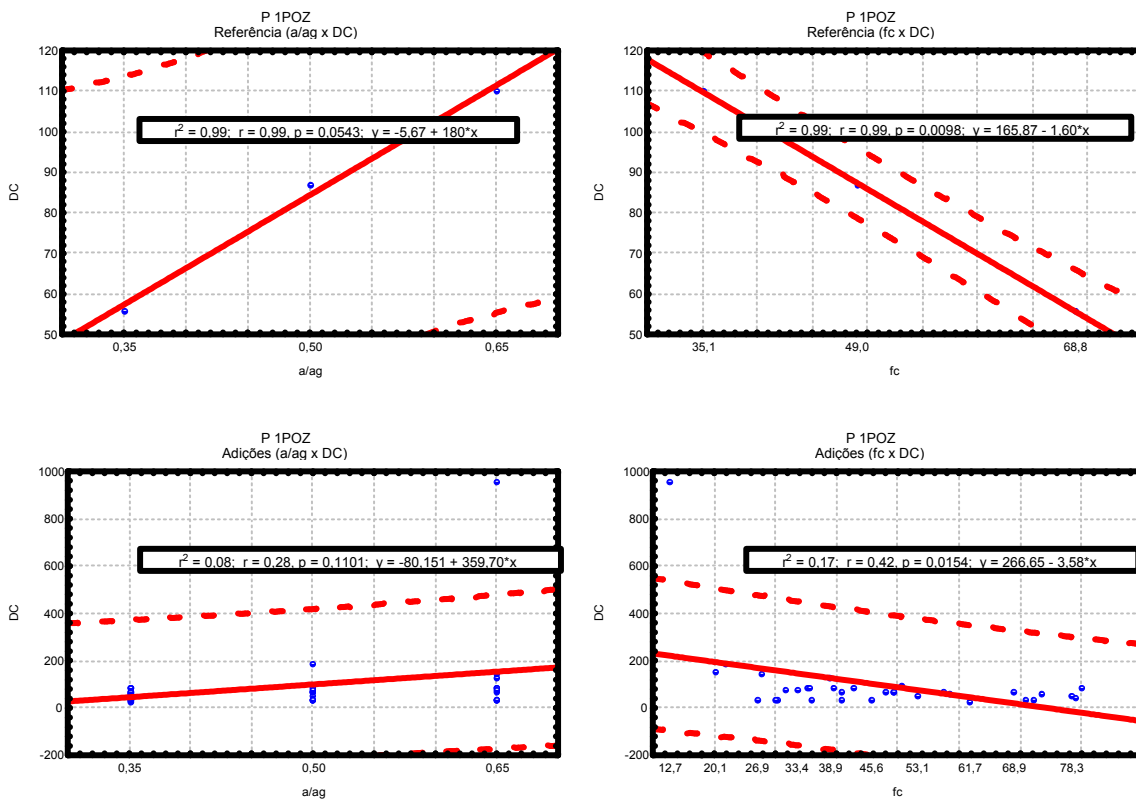


Figura C.12 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável d>50nm

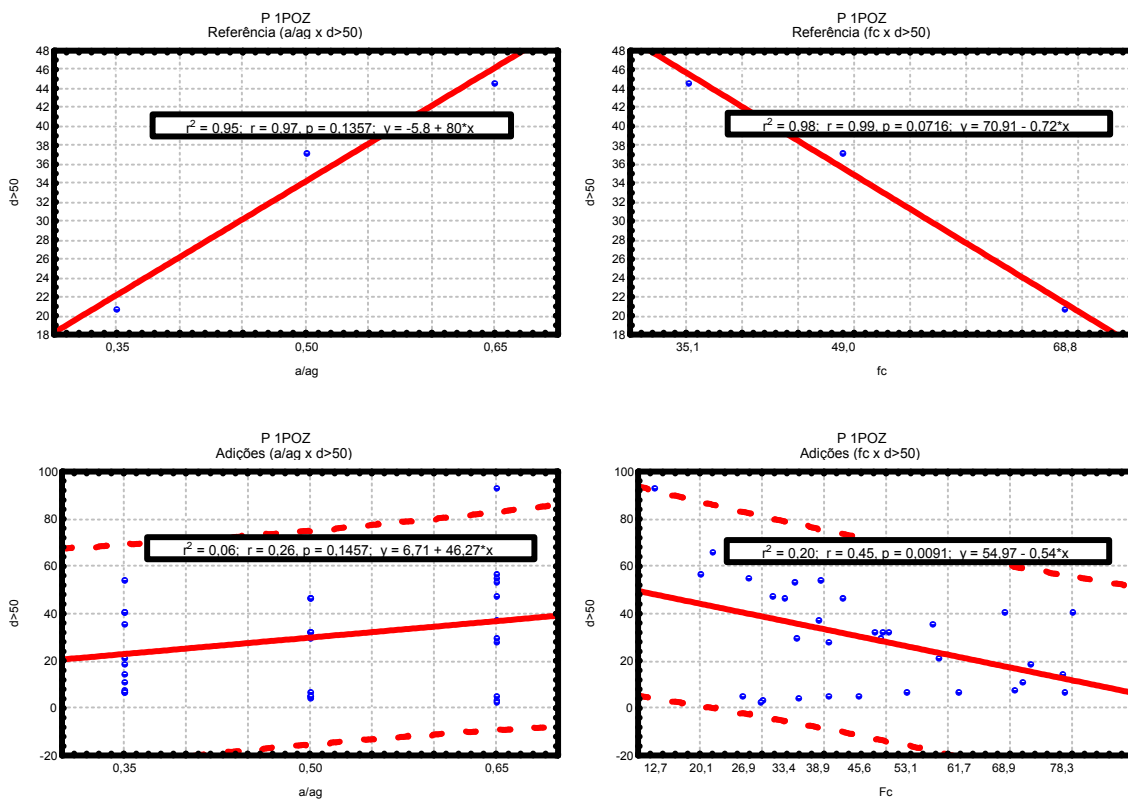


Figura C.13 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável 50>d>10nm

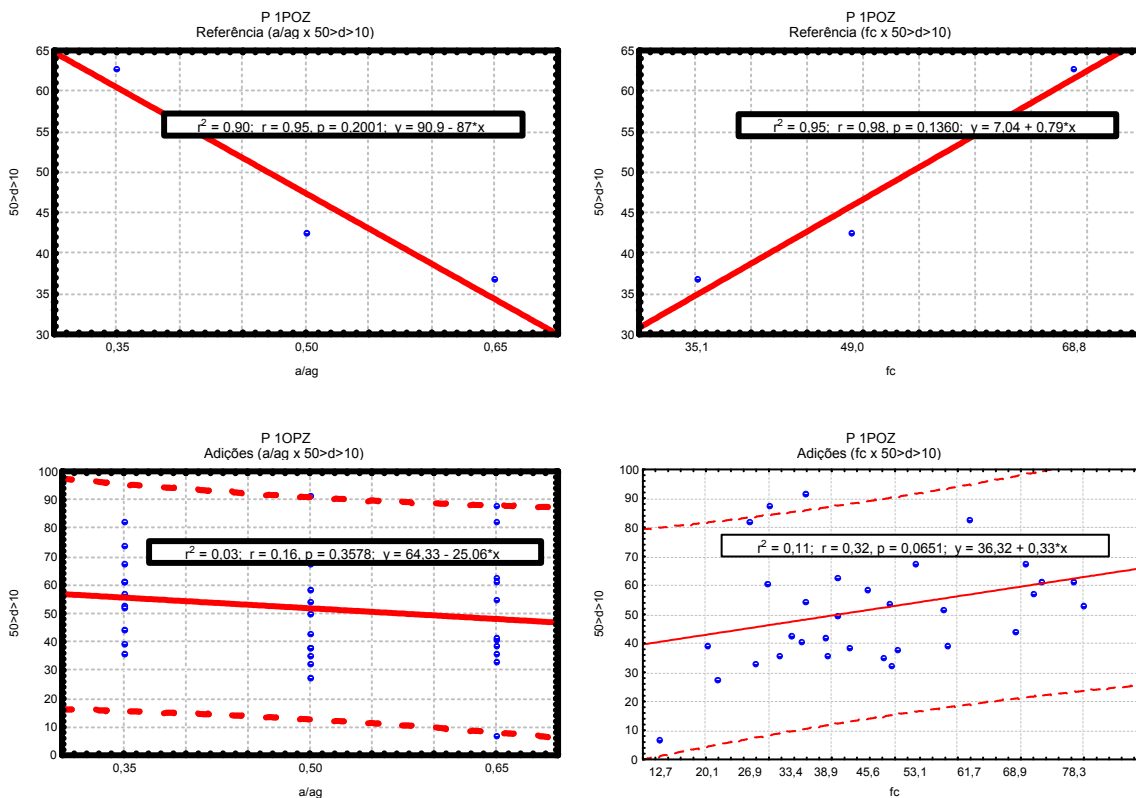


Figura C.14 – Regressão linear do Projeto 1POZ para variável d<10nm

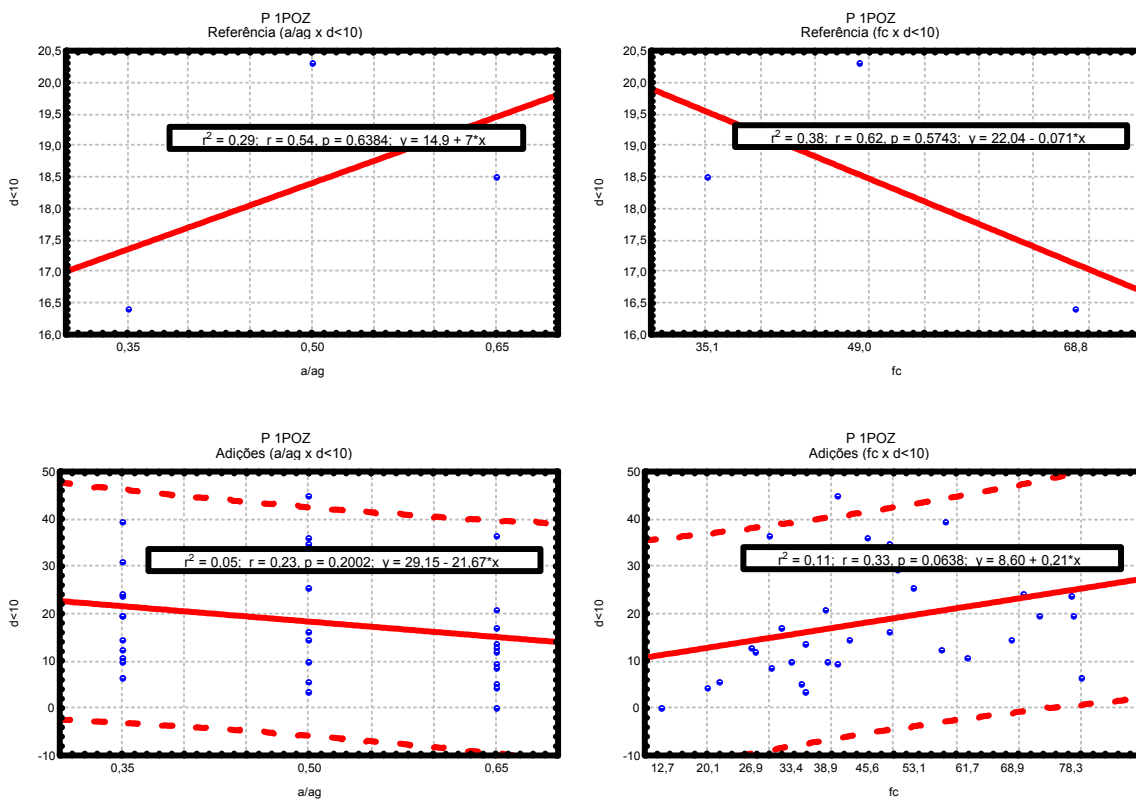


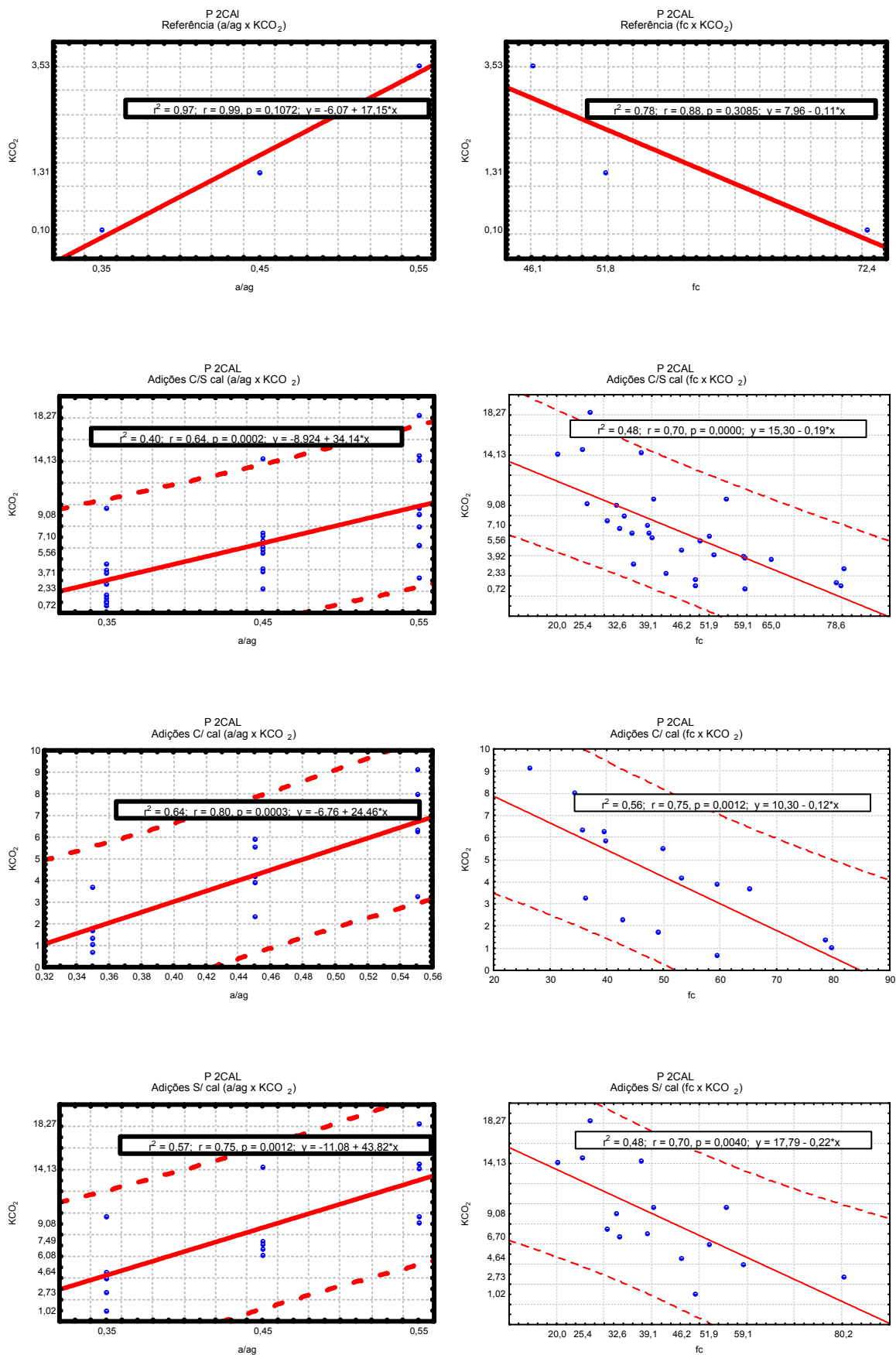
Figura C.15 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável  $KCO_2$ 

Figura C.16 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável A H<sub>2</sub>O

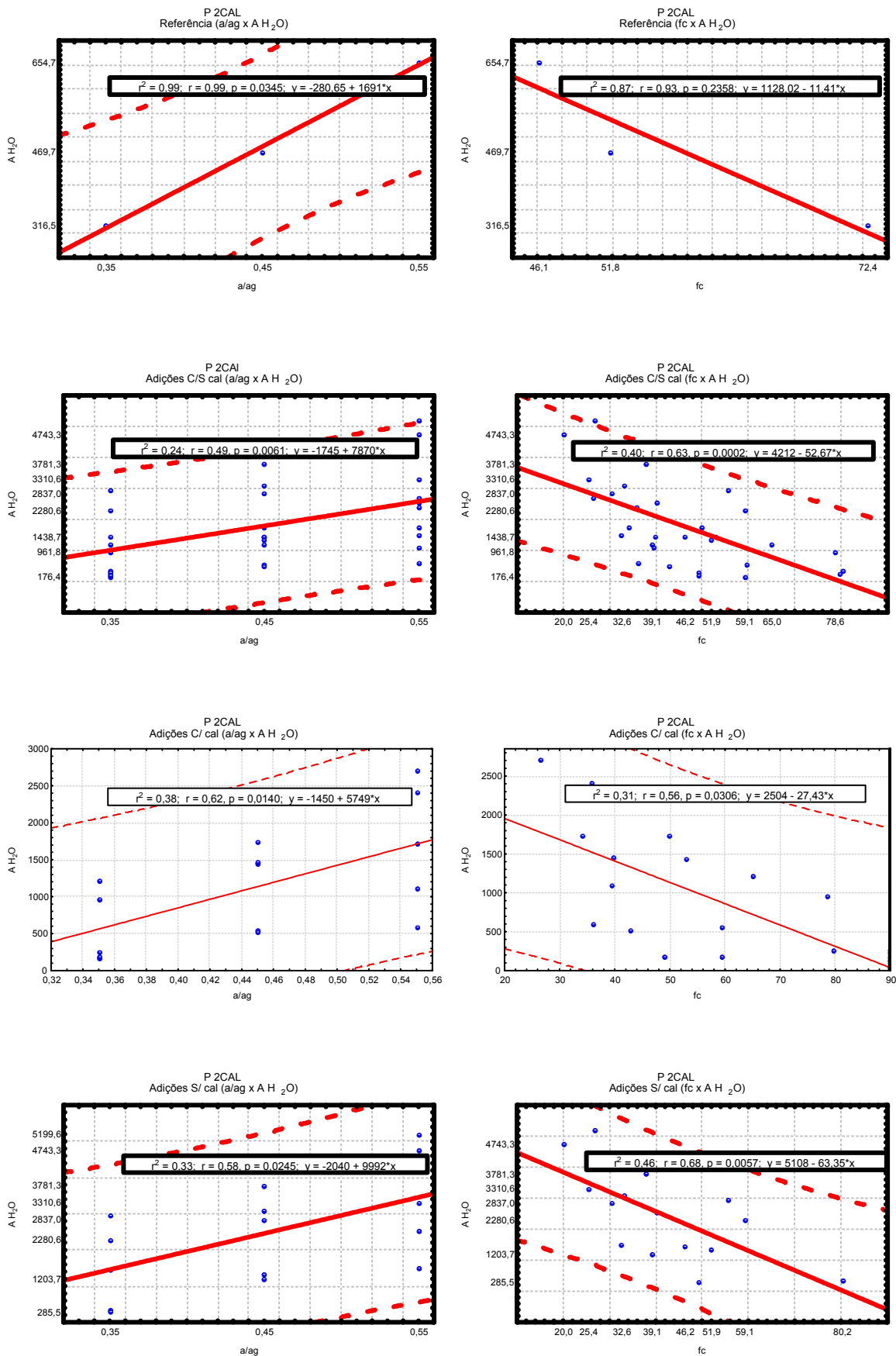


Figura C.17 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável P Cl<sup>-</sup>

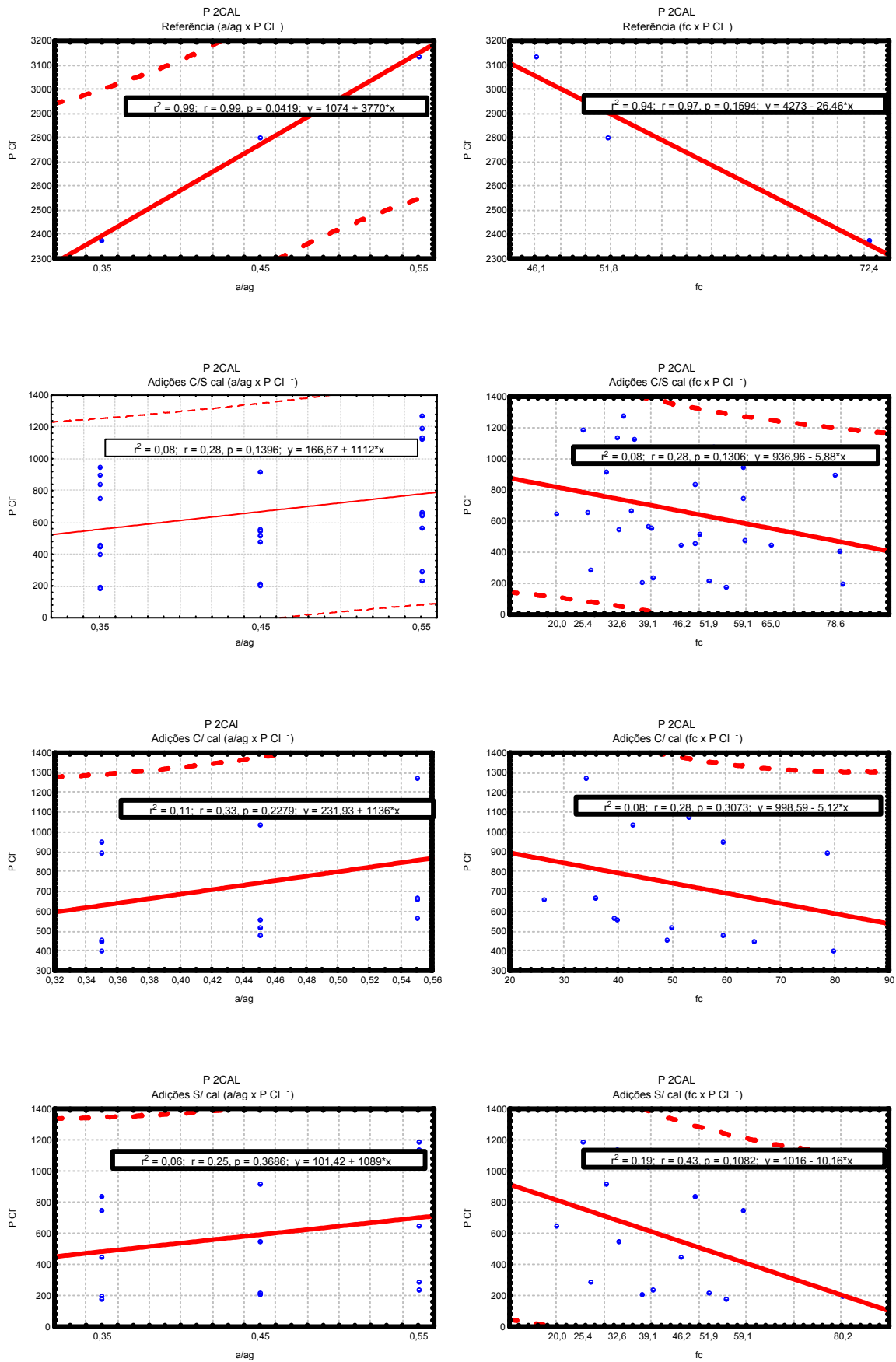


Figura C.18 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável P O<sub>2</sub>

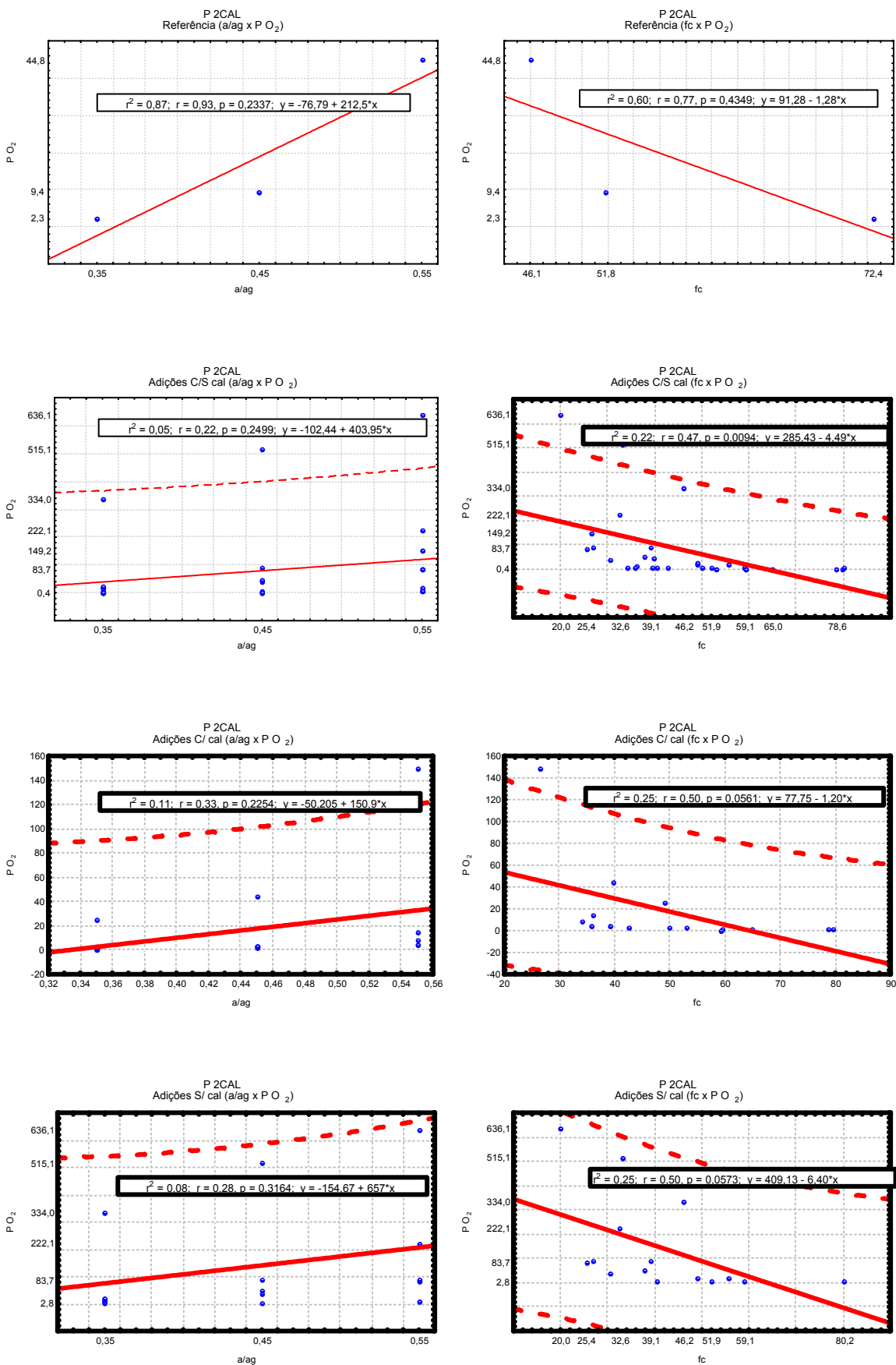


Figura C.19 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável CH

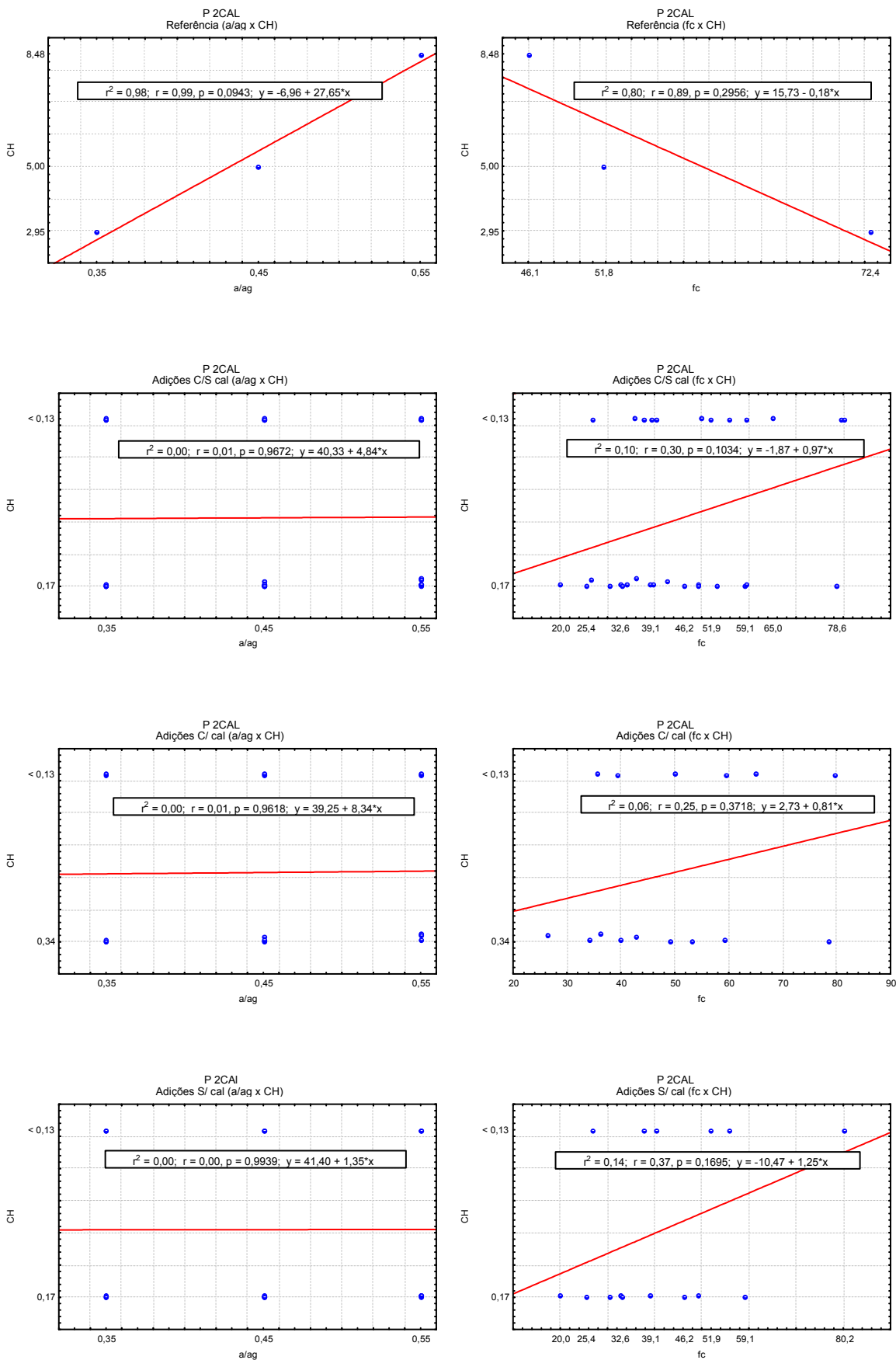




Figura C.20 – Regressão linear do Projeto 2CAL para variável Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>

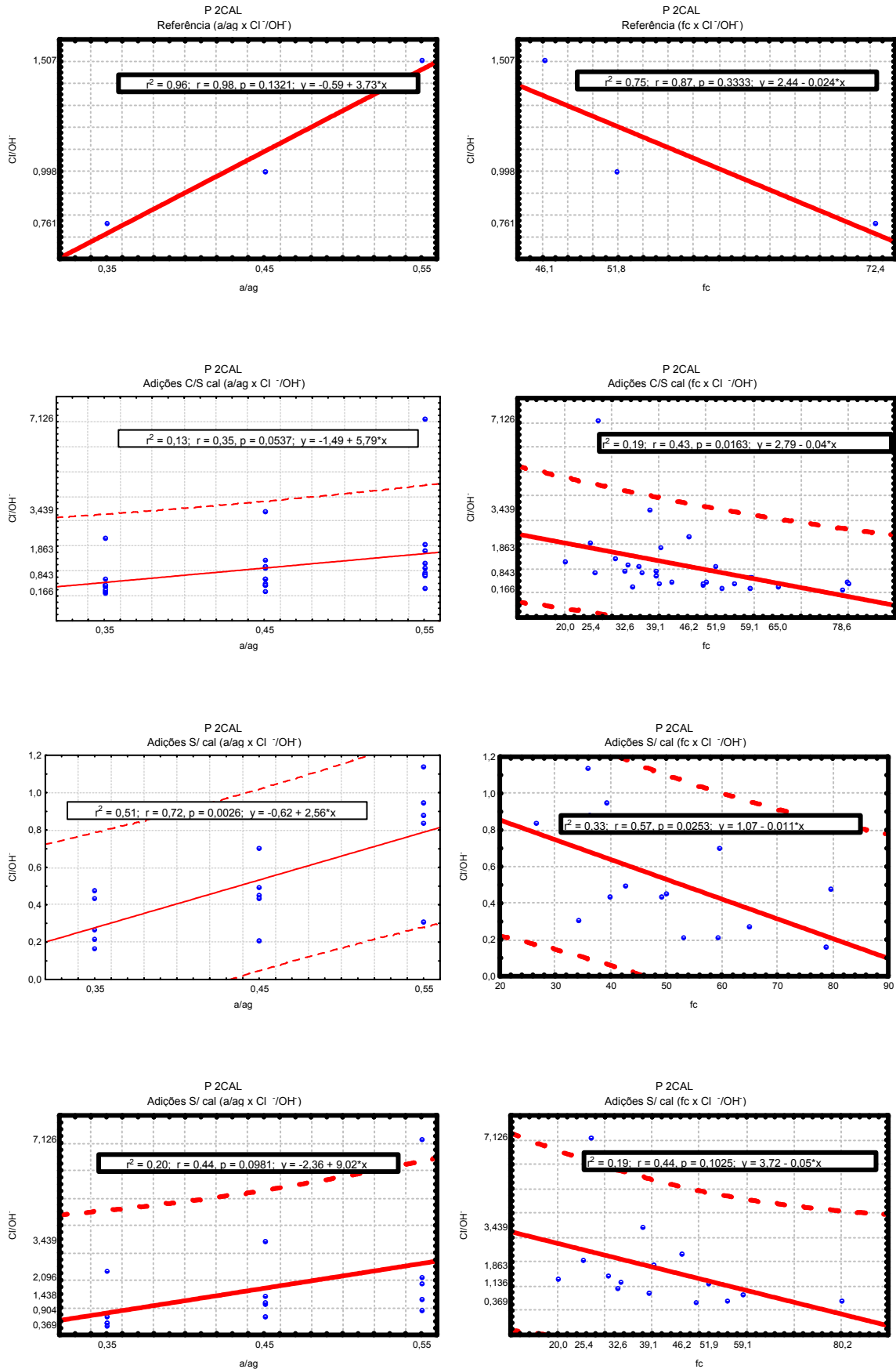


Figura C.21 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável KCO<sub>2</sub>

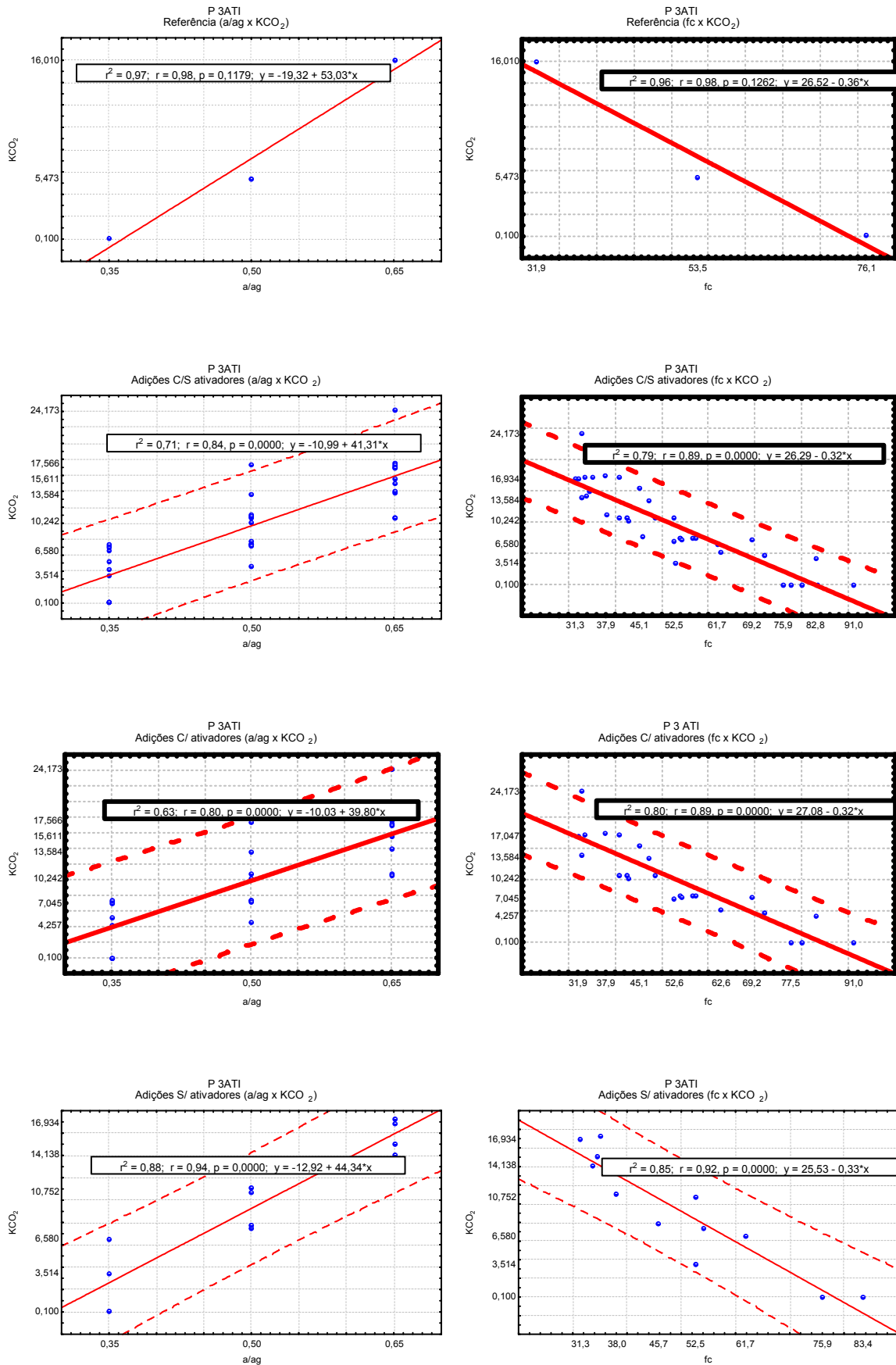


Figura C.22 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável A H<sub>2</sub>O

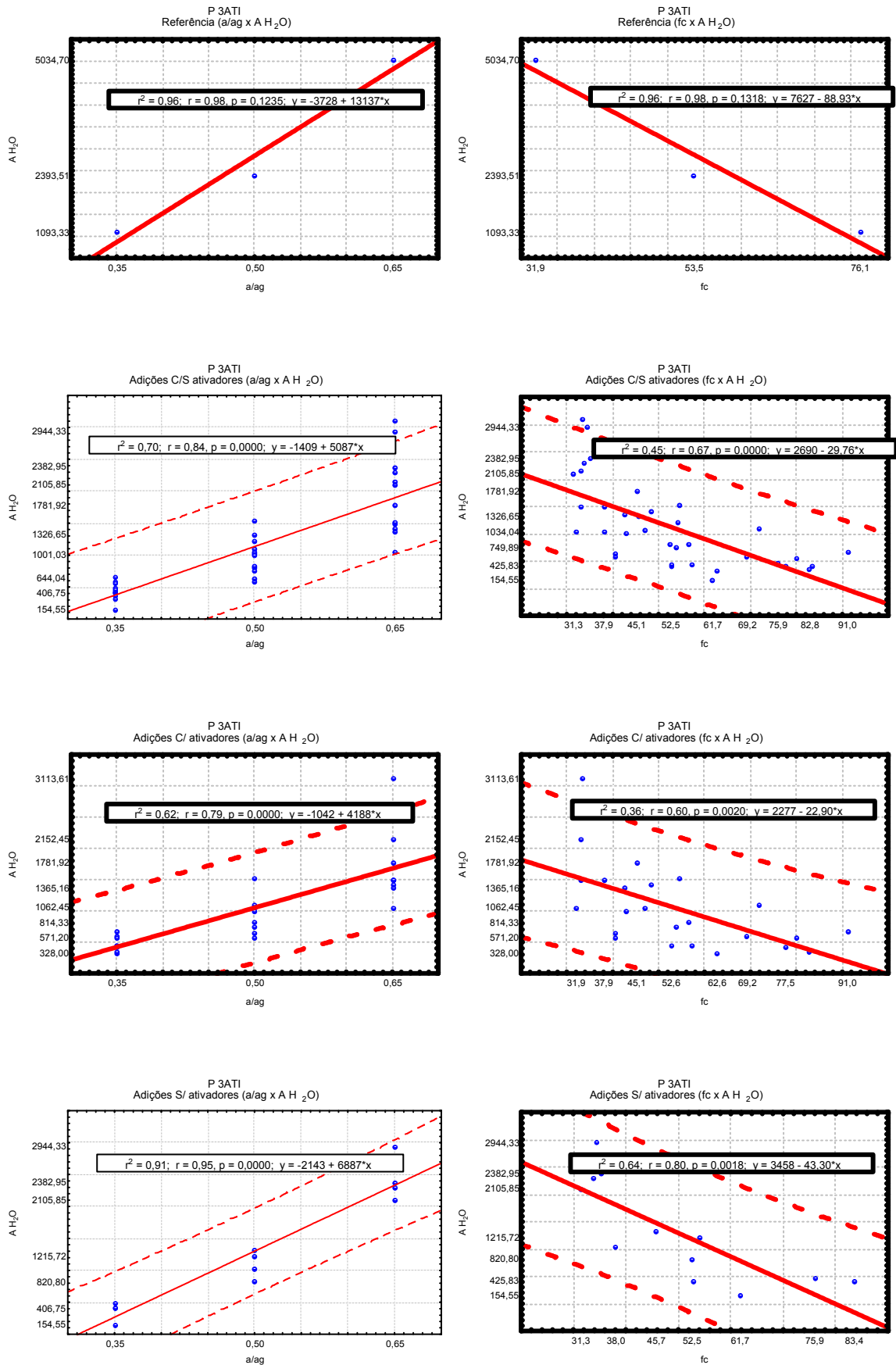


Figura C.23 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável P Cl<sup>-</sup>

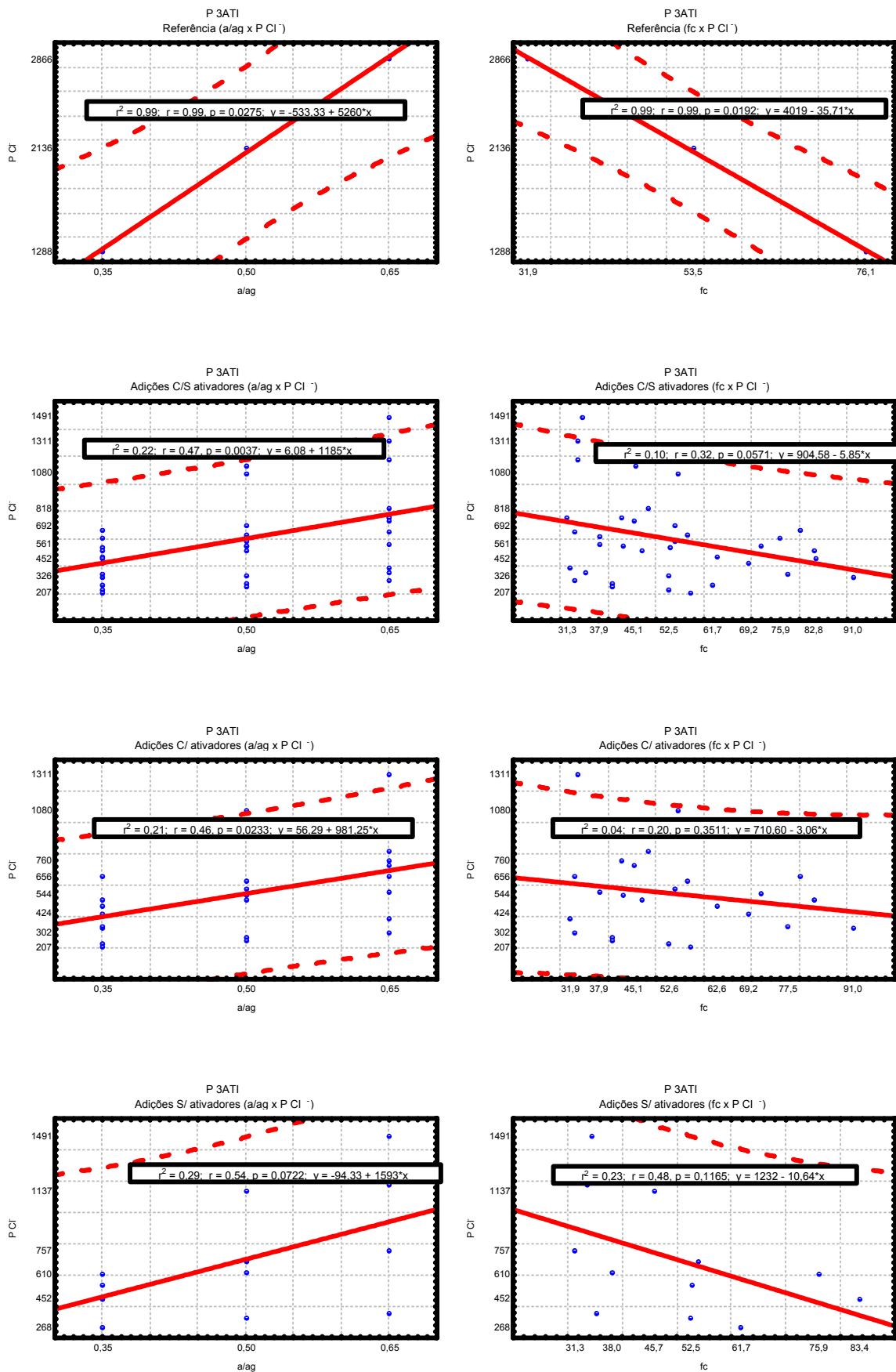


Figura C.24 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável T Cl<sup>-</sup>

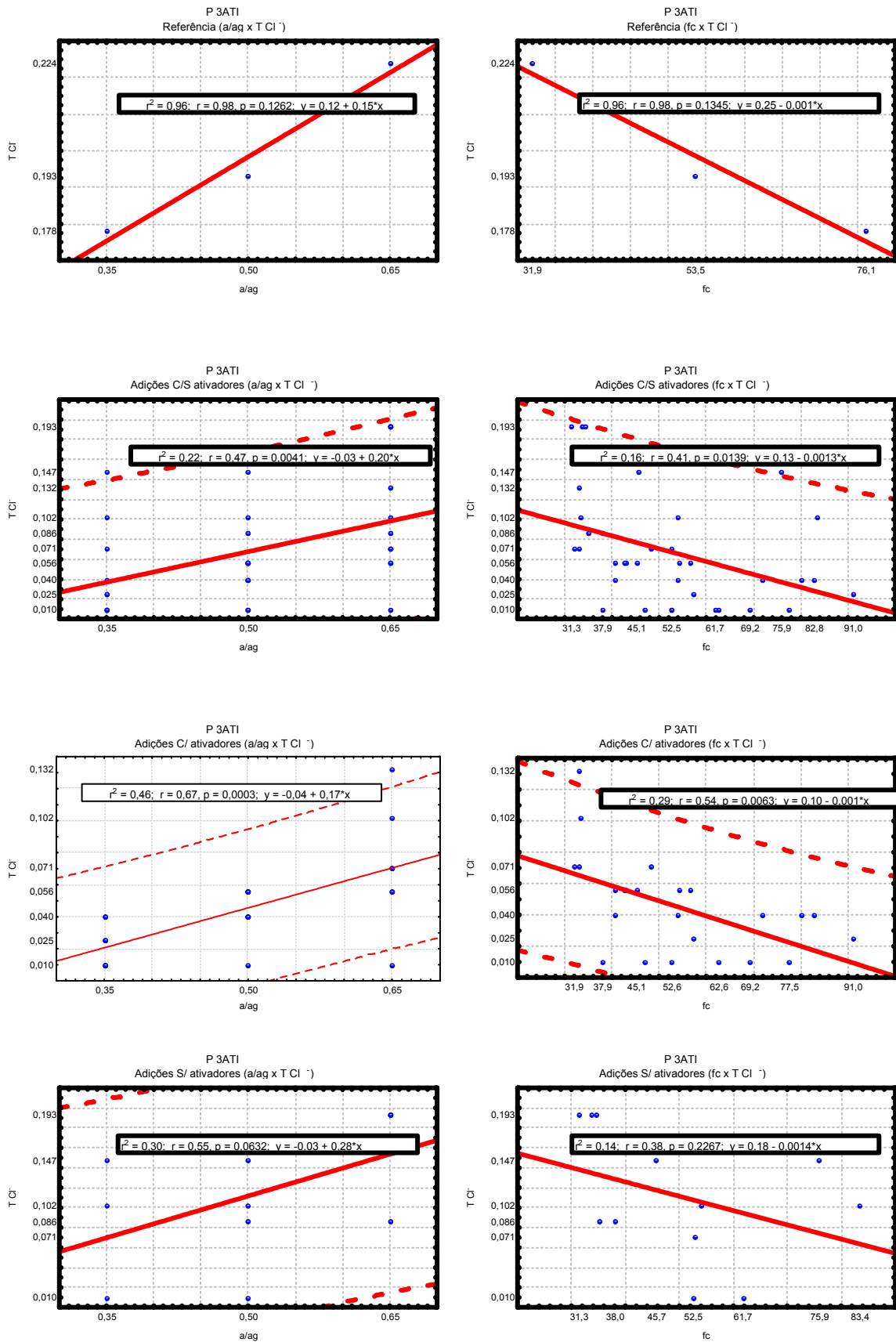


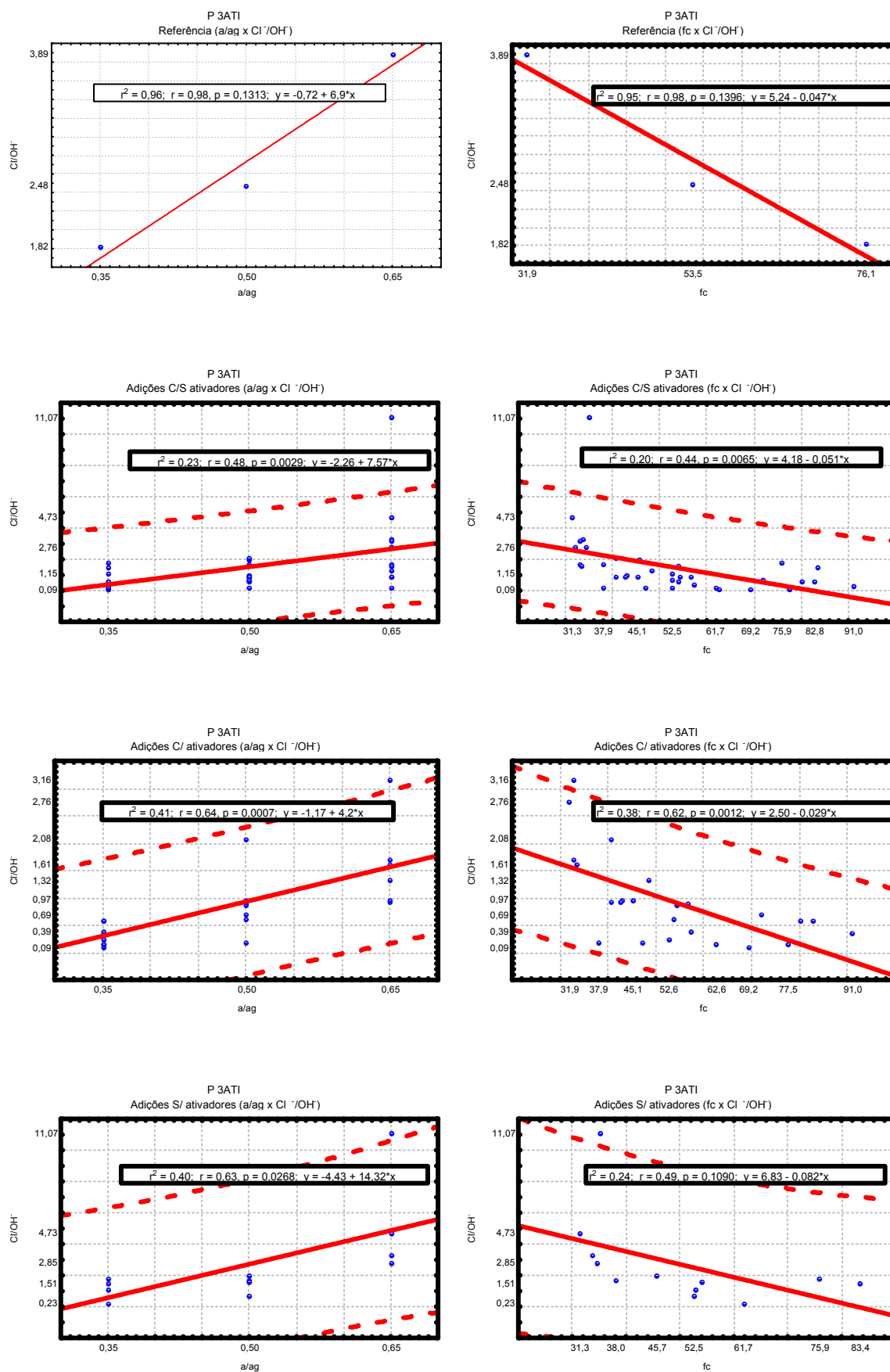
Figura C.25 – Regressão linear do Projeto 3ATI para variável Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>

Figura C.26 – Regressão linear do Projeto 4FIN para variável P Cl<sup>-</sup>

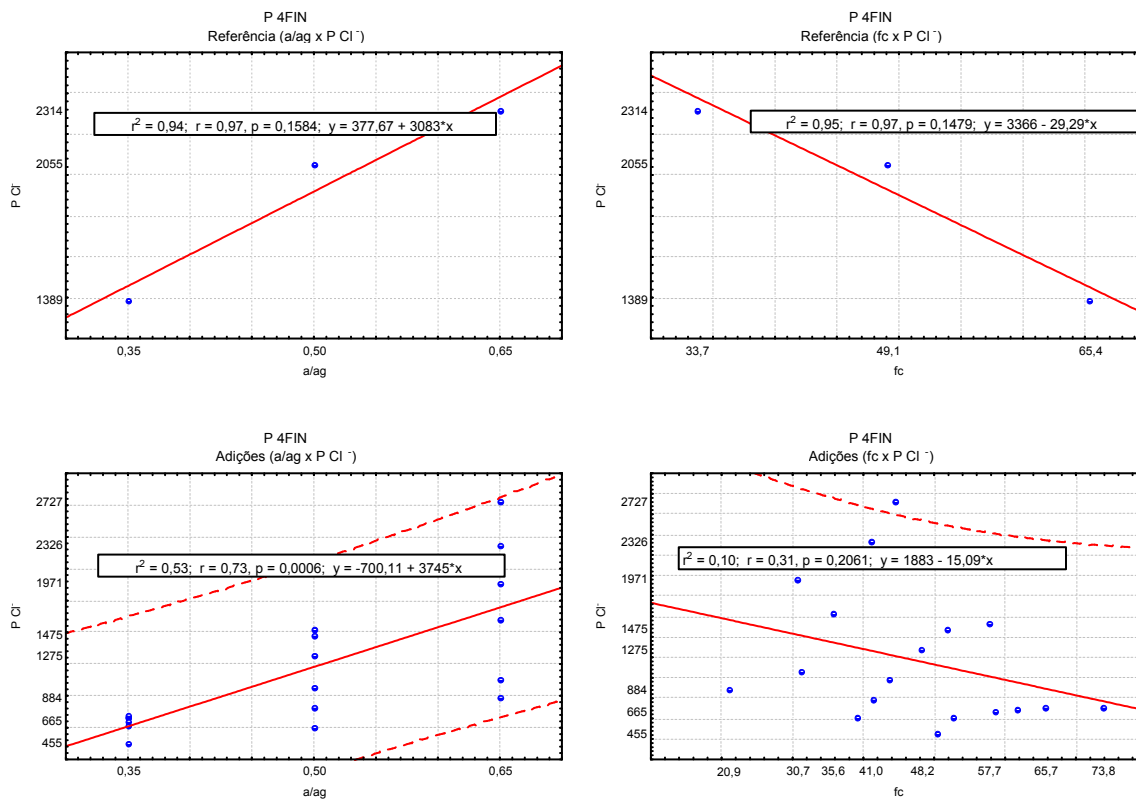


Figura C.27 – Regressão linear do Projeto 4FIN para variável Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup>

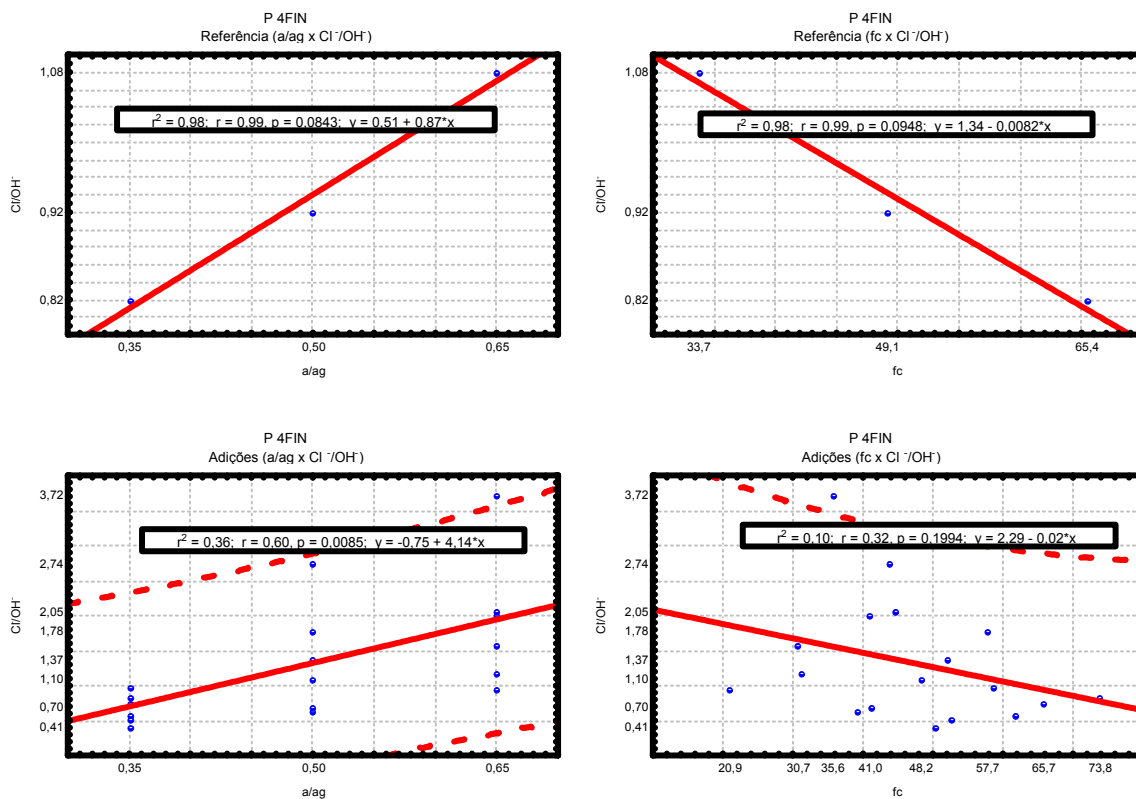


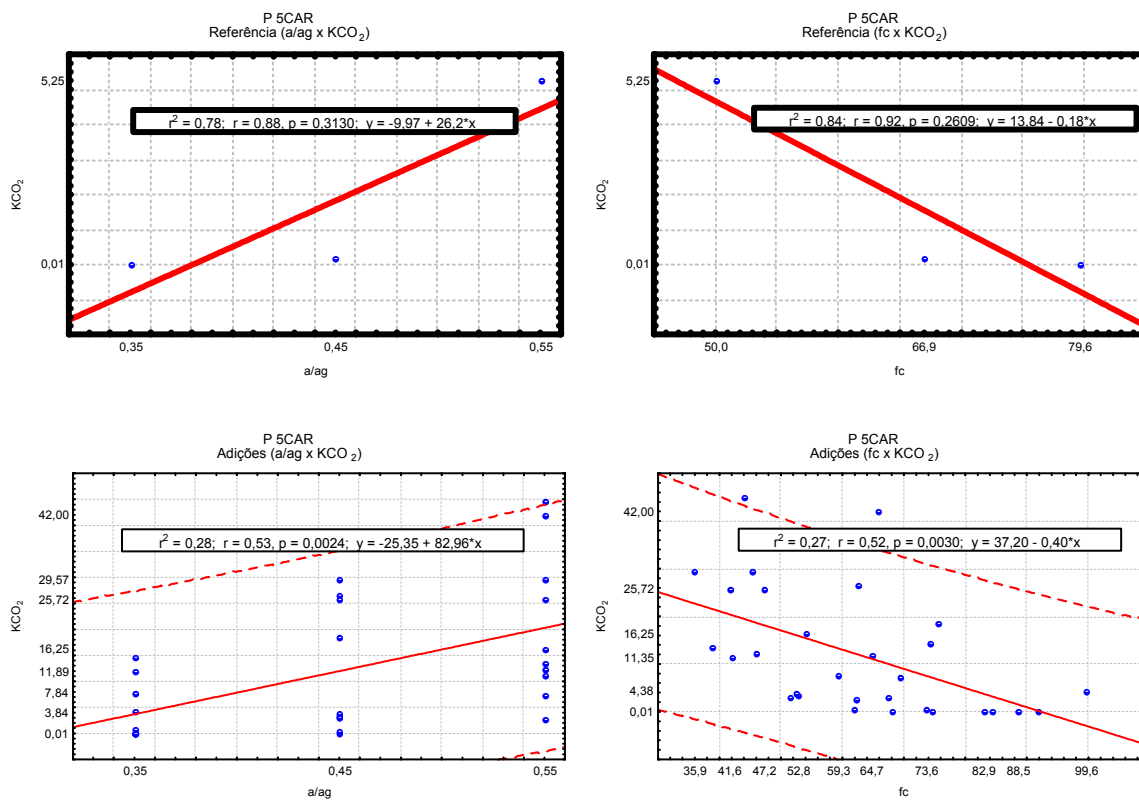
Figura C.28 – Regressão linear do Projeto 5CAR para variável KCO<sub>2</sub>

Figura C.29 – Regressão linear do Projeto 5CAR para variável CH

