

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

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE ADIÇÃO DE RESÍDUO  
DE PÓ DE FUMO À MASSA CERÂMICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Diorges Carlos Lopes**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2005**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE  
FUMO À MASSA CERÂMICA**

**por**

**Diorges Carlos Lopes**

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

**Orientador: Prof. Dr. José Mário Doleys Soares**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2005**

**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 DA VIABILIDADE DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE  
FUMO À MASSA CERÂMICA**

elaborada por  
**Diorges Carlos Lopes**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**José Mário Doleys Soares, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)**

---

**Marcos Vinícios Veleza Ramires, Dr. (Unissinos)**

Santa Maria, 23 de maio de 2005.

Dedico...

Aos meus pais  
À Cleusa (sogra)  
Aos meus filhos  
A minha esposa Raquel

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter proporcionado a convivência com pessoas que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional;

Ao meu orientador José Mário Doleys Soares, por não ter medido esforços para a concepção deste trabalho, pela amizade, apoio, paciência, compreensão;

Ao Professor Rinaldo Pinheiro, pela amizade, sugestões e colaboração durante o trabalho;

À Marialva Cezar, pela boa vontade, amizade, dedicação, competência na padronização do trabalho;

Ao Eleomar Pappis, pela agilização dos serviços de caráter interno da instituição, e ao diretor do LMCC, Paulo Obregon do Carmo, pelo apoio;

Aos bolsistas, Tiago, Edílson, Igor, Rafael, Minéia e Vânia, pelo auxílio e colaboração na realização dos ensaios;

A minha esposa pelo apoio, companheirismo e suporte técnico na confecção deste trabalho;

À Dimon, pelo interesse e fornecimento do pó de fumo estudado na pesquisa;

À Olaria, pela receptividade e fornecimento das matérias-primas pesquisadas;

À CAPES, pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa de estudos.

## **RESUMO**

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

### **ESTUDO DA VIABILIDADE DE ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE FUMO À MASSA CERÂMICA**

AUTOR: DIORGES CARLOS LOPES

ORIENTADOR: JOSÉ MÁRIO DOLEYS SOARES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de abril de 2005.

Essa pesquisa compreende o estudo da viabilidade de adição de resíduo da indústria fumageira (pó de fumo) à massa cerâmica utilizada para a fabricação de produtos cerâmicos. Dessa forma, objetiva a incorporação desse resíduo na mistura (destinação adequada) em substituição parcial da matéria-prima (economia de argila). Para essa pesquisa foram utilizadas três amostras de solos argilosos provenientes de jazida de morro e um resíduo da indústria fumageira. As amostras de solos argilosos (matérias-primas) foram preparadas e caracterizadas segundo as normas técnicas da ABNT e as moldagens de séries de corpos de prova seguiram procedimentos recomendados pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul – CIENTEC. À massa cerâmica, o resíduo foi adicionado com percentagens de 5, 10, 15, e 20% do volume de argila em forma de pó, conforme coletado na indústria. Também foi estudada a adição (na mesma percentagem acima citada) de cinza de pós de fumo à massa cerâmica. A análise dos resultados indica a viabilidade do uso das adições de cinza ou de resíduo para a fabricação de tijolos maciços, blocos e telhas. As análises químicas das amostras de resíduo e cinza, juntamente com os ensaios de lixiviação realizados com um copo de prova contendo 15% de adição de resíduo e outro contendo 10%, indicam valores dentro das faixas de aceitação indicadas pela NBR 10004.

Palavras-chave: cerâmica, resíduo, olaria, argila.

## **ABSTRACT**

**Master Degree Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria**

### **STUDY ON THE VIABILITY OF ADDITION OF TOBACCO DUST TO CERAMICS MASS**

AUTHOR: DIORGES CARLOS LOPES  
ADVISER: JOSÉ MÁRIO DOLEYS SOARES

Date and place of defence: Santa Maria, 23th of April 2005.

This research comprehends the study of the viability of adding residues from the tobacco industry (tobacco dust) in the ceramics mass for the production of pottery. It aims the incorporation of this residue in the mixture (with proper destination) as a partial substitute of the main substance (clay economy). For this research it has been used three samples of argillaceous ground from hillfield and a sample of residues from the tobacco industry. The argillaceous ground samples (raw materials) were prepared and characterized according to the ABNT techniques and a number of testing mouldings were produced according to the procedures recommended by the *Fundação de Ciência e Tecnologia* of the Rio Grande do Sul State - CIENTEC. The residue was added to the ceramic mass with percentages of 5, 10, 15, and 20% of the volume of clay in dust form, as collected in the industry, also in the same percentages the addition of the tobacco dust ash was studied. The analysis of the results indicates the viability of the use of the additions of ash or residue in the manufacture of massive bricks, blocks and roofing tiles. The chemical analysis of the residue and ash samples, and the leaching assays made with a moulding sample with 15% of residue added plus another one with 10%, both indicate values in accordance to bands of acceptance indicated by the NBR 10004.

Key words: Ceramics, residue, pottery, clay.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Seqüência do processo de fabricação cerâmica (RIPOLI FILHO, 1997) .....	27
Figura 2.2 – Forno intermitente de chama invertida (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990). .....	31
Figura 2.3 – Esquema de funcionamento de um forno contínuo OSHIMOTO&THOMAZ (1990). .....	31
Figura 2.4 – Esquema de um forno Hoffmann (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990) ...	32
Figura 2.5 – Estimativa da geração de resíduos de compósitos na Europa (ROCHA &JOHN, 2003). .....	35
Figura 2.6 – Esquemática dos processos de aproveitamento de resíduos (redução de matéria-prima e eficiência energética) (ROCHA & JOHN, 2003). .....	37
Figura 2.7 Esquema geral para caracterização dos resíduos, adaptado de Rocha & Cherif (2003). .....	39
Figura 3.1 – Coleta de amostra de argila .....	43
Figura 3.2 - Secagem ao ar de amostra(s) de argila(s) .....	44
Figura 3.3 – Extrusão a vácuo .....	46
Figura 3.4 – Medição .....	46
Figura 3.5 – Secagem a 105°C .....	47
Figura 3.6 - Verificação dimensional após moldagem .....	49
Figura 3.7 - Modelo de ruptura a flexão .....	50
Figura 3.8 - Ruptura a flexão simples (método dos três pontos) .....	51
Figura 3.9 - Determinação da massa imersa de corpos de prova .....	52
Figura 4.1 –Diagrama de Winkler.....	55
Figura 4.2 – Difractometria de Raios-X da amostra pó de fumo queimado.....	60
Figura 4.3 – Absorção de água VA01 (geral).....	63
Figura 4.4 – Tensão de ruptura VA01 (geral).....	64
Figura 4.5 – Absorção de água –VA05 geral.....	66
Figura 4.6 – Tensão de ruptura –VA05 geral.....	67
Figura 4.7– Absorção de água –VA06 geral.....	68
Figura 4.8– Tensão de ruptura – VA06 geral.....	69



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação dos diversos tipos de partículas que podem estar presentes na fração argila dos solos (PINHEIRO & SOARES, 2002). .....	21
Tabela 3.1 – Velocidade de queima .....	48
Tabela 4.1 – Caracterização das amostras de argilas .....	55
Tabela 4.2 – Análise química das amostras de argilas .....	56
Tabela 4.3 – Análise química resíduo .....	57
Tabela 4.3 – Análise química cinza .....	57
Tabela 4.5 – Ensaio de lixiviação de corpo de prova queimados a 950° C com adição de resíduo .....	58
Tabela 4.6 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas sob forma natural	59
Tabela 4.7 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas com saturação em etilenoglicol .....	59
Tabela 4.8 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas sob forma calcinada a 500° C .....	59
Tabela 4.9 – Difractometria de raios-X da amostra pó de fumo queimado. ....	60
Tabela 4.10 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA01 – resíduo...	62
Tabela 4.11 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA01 - cinza .....	62
Tabela 4.12 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA05 – resíduo...	65
Tabela 4.13 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA05 - cinza .....	65
Tabela 4.14 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA06 – resíduo...	67
Tabela 4.15 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA06 - cinza .....	68

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ABC** - Associação Brasileira de Cerâmica

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ANICER** - Associação Nacional da Indústria Cerâmica

**ATD** - Análise termo-diferencial

**ATG** - Análise termogravimétrica

**CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

**CIENTEC** - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul

**CTC** - Capacidade de troca catiônica

**GLP** - Gás líquido de petróleo

**GPS** - Global Position System (Sistema de Posicionamento Global)

**INMETRO** - Instituto Nacional de Metrologia

**LMCC** - Laboratório de Materiais de Construção Civil

**NBR** - Normas Brasileiras Registradas

**SIOCERGS** - Sindicato das Indústrias de Cerâmicas do Estado do Rio Grande do Sul

**UFSM** - Universidade Federal de Santa Maria

**USCS** - Unified Soil Classification System (Sistema Unificado de Classificação de Solos)

## LISTA DE SÍMBOLOS

- a** – Altura do corpo de prova
- Aa** – Absorção de água
- b** – Largura do corpo de prova
- Clq** – Contração linear de queima
- ClS** – Contração linear de secagem
- d.e.e.** – Diâmetro esférico equivalente
- Ip** – Índice de plasticidade
- l** – Distância entre os apoios
- Lo** – Medida linear inicial do corpo de prova
- Lq** – Medida linear do corpo de prova após a queima
- Ls** – Medida linear do corpo de prova após secagem a 105°C
- Mea** – Massa específica aparente
- MPa** – Mega Pascal
- P** – Carga de ruptura
- Pa** – Porosidade aparente
- Pf** – Perda ao fogo
- pH** – Potencial de hidrogênio
- Tr** – Tensão de ruptura
- w** – Teor de umidade
- wc** - Limite de contração
- Wi** – Peso do corpo de prova imerso
- wl** - Limite de liquidez
- w<sub>mold.</sub>** – Umidade de conformação
- wp** - Limite de plasticidade
- Ws** – Peso do corpo de prova seco a 105°C
- Wu** – Peso do corpo de prova úmido após moldagem
- Ø** - Diâmetro

## LISTA DE APÊNDICES

**APÊNDICE A** – Difração de raios-x das amostras VA01, VA05 e VA06 .....80

**APÊNDICE B** – Resultados dos ensaios cerâmicos sem adição e com adição de resíduo /cinza..... 85

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	6
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	7
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	8
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	9
<b>LISTA DE APÊNDICES</b> .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1 Objetivos da pesquisa</b> .....	17
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	17
<b>1.3 Estrutura</b> .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
<b>2.1 Histórico da Cerâmica</b> .....	19
<b>2.2 Constituição mineralógica das argilas</b> .....	20
2.2.1 Constituição da fração argila dos solos .....	20
2.2.2 Origem dos argilominerais.....	21
2.2.3 Estrutura cristalina.....	21
2.2.4 Composição química e mineralógica.....	22
2.2.5 Materiais argilosos não-cristalinos .....	25
<b>2.3 Argilas para cerâmica vermelha ou estrutural</b> .....	25
<b>2.4 Fabricação da cerâmica</b> .....	26
<b>2.5 Resíduos</b> .....	32
2.5.1 Resíduos sólidos .....	33
2.5.2 História da poluição ambiental .....	34
2.5.3 Aproveitamento de Resíduos .....	36
2.5.4 Experiências com Reciclagem.....	39
<b>3 METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b> .....	42
<b>3.1 Introdução</b> .....	42
<b>3.2 Coleta das amostras de argilas</b> .....	42

<b>3.3 Ensaio de Caracterização</b> .....	43
3.3.1 Preparação das amostras .....	43
<b>3.4 Análise química</b> .....	45
<b>3.5 Difração de raios-X</b> .....	45
<b>3.6 Ensaio cerâmico</b> .....	45
3.6.1 Preparação das amostras .....	45
3.6.2 Moldagem de corpos de prova .....	46
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	54
<b>4.1 Introdução</b> .....	54
<b>4.2 Ensaio de caracterização</b> .....	54
<b>4.3 Análise química</b> .....	55
<b>4.4 Difração de raios-x</b> .....	58
<b>4.5 Ensaio cerâmico</b> .....	60
4.5.1 Introdução .....	60
4.5.2 Ensaio cerâmico sem adição e com adição de resíduo.....	61
4.5.3 Ensaio cerâmico com adição de cinza de pó de fumo.....	61
<b>4.6 Análise dos ensaios com amostra de argila VA01</b> .....	61
4.6.1 Contrações lineares médias.....	61
4.6.2 Absorção de água VA01 - resíduo/cinza .....	63
4.6.3 Tensão de ruptura VA01 - resíduo/cinza.....	63
<b>4.7 Análise de ensaios com amostra de argila VA05</b> .....	64
4.7.1 Contrações lineares médias.....	64
4.7.2 Absorção de água VA05 - resíduo/cinza.....	65
4.7.3 Tensão de ruptura VA05 - resíduo/cinza .....	66
<b>4.8 Análise de ensaios com amostra de argila VA06</b> .....	67
4.8.1 Contrações lineares médias.....	67
4.8.2 Absorção de água VA06 - resíduo/cinza.....	68
4.8.3 Tensão de ruptura VA06 - (resíduo/cinza).....	69
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	70
<b>5.1 Introdução</b> .....	70
<b>5.2 Argilas puras</b> .....	70
5.2.1 Ensaio de caracterização .....	70
5.2.2 Ensaio cerâmico .....	70
<b>5.3 Adição de resíduos</b> .....	71

5.3.1 Adições na argila VA 01.....	71
5.3.2 Adições na argila VA 05.....	72
5.3.3 Adições na argila VA 06 .....	73
<b>5.4 Análise química</b> .....	<b>73</b>
<b>5.5 Sugestões</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>75</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O reaproveitamento de resíduos/rejeitos de processos industriais, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a diversificação/fabricação de produtos e para a diminuição dos custos finais de sua produção. Os depósitos de rejeitos não podem continuar sendo vistos como a solução mais adequada, pois quando esses rejeitos são estocados em aterros sanitários industriais, eles roubam espaço físico, degradam a natureza e apresentam risco permanente de contaminação do meio ambiente. A racionalização do consumo dos recursos naturais, a redução do consumo de energia e a diminuição dos custos de produção, evidenciam que a utilização de resíduos de diferentes indústrias e matérias-primas vem ao encontro à tendência mundial vigente. Nesse sentido, a construção civil é um setor de atividades que atualmente busca novas alternativas no que concerne a matérias-primas mais baratas e com desempenho superior.

O Rio Grande do Sul possui uma indústria cerâmica de expressão (com cerca de 1200 indústrias), abundância de matérias-primas e experiência acumulada.

Esse tipo de indústria é de fácil instalação em diferentes locais, possibilita a geração de emprego/renda e é de grande importância para a fabricação de produtos para a construção civil, que é uma das grandes geradoras de emprego/renda e PIB no nosso país.

A região de Santa Cruz do Sul, por ser uma forte produtora de fumo, possui várias indústrias de beneficiamento, que geram um volume considerável de resíduos (pó de fumo), o qual é motivo de preocupação dos proprietários de indústrias, governantes e ambientalistas. A indústria da construção civil tem liderado a aplicação de resíduos na produção de materiais. Essa ocorrência levou a indústria de beneficiamento de fumo a buscar uma parceria com uma indústria cerâmica de Venâncio Aires.



## 1.1 Objetivo geral

Estudar a possibilidade da utilização do rejeito *pó de fumo* gerado por indústria fumageira da região de Santa Cruz do Sul na fabricação de produtos cerâmicos.

## 1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as matérias-primas (argilas), resíduo e cinza de pó de fumo;
- Moldar séries de corpos de prova com diferentes adições de pó e de cinza;
- Avaliar o comportamento físico e mecânico de adições de resíduo e de cinza nas matérias-primas;
- Analisar níveis de contaminantes em relação à NBR 10.004;
- Apresentar uma proposta de uso do rejeito industrial na produção de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, retirando do meio ambiente o produto e evitando um impacto ainda maior do que o já gerado pelo resíduo.

## 1.3 Estrutura

O trabalho está subdividido em 7 capítulos, assim estruturados:

- Capítulo 1 - Introdução -
- Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica – revisão do conhecimento sobre cerâmica vermelha e o uso de materiais recicláveis na construção civil;
- Capítulo 3 – Metodologia - Técnicas e procedimentos adotados na realização da pesquisa;
- Capítulo 4 – Resultados - Apresentação dos resultados dos ensaios realizados: caracterização, químicos e cerâmicos;
- Capítulo 5 - Análise e discussão dos resultados – Análise e interpretação dos resultados dos ensaios realizados com as argilas e com o rejeito;
- Capítulo 6 – Conclusões e sugestões - apresentação das conclusões do estudo e sugestões para a continuidade da pesquisa;

- Referências Bibliográficas – Relação da bibliografia consultada na elaboração do trabalho.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Inicialmente, esse capítulo apresenta uma revisão da bibliografia sobre argilas e cerâmica vermelha. Em seguida, é abordada a temática dos resíduos, com enfoque para sua aplicação em construção civil, especialmente para seu emprego como aditivo e como matérias-primas para a produção de cerâmica vermelha (estrutural).

### **2.1 Histórico da cerâmica**

O aparecimento da cerâmica data do período Neolítico ( $\pm 20000$  a.C.), ou seja, esse artefato acompanha o homem desde os seus primeiros passos na história. A descoberta do fogo aliada à curiosidade humana, propiciou ao homem perceber as mudanças nas propriedades do solo queimado pelo fogo (SANTOS 1989).

A mais antiga arte da humanidade é a fabricação de tijolos. Os gregos, assírios, árabes, romanos e egípcios, utilizavam tijolos queimados nas suas construções (MÜLLER et al., 1990).

A facilidade de fabricação da cerâmica e a quantidade de matéria-prima conhecida como argila facilitaram a emergência de uma Indústria Cerâmica, que hoje é classificada como uma das mais antigas do mundo (VERÇOZA, 1987).

Petrucci (1979) cita que enquanto os persas utilizavam produtos cerâmicos para a construção de casas populares, os assírios e caldeus possuíam técnicas mais sofisticadas para a fabricação e construção de tijolos, erguendo palácios e bibliotecas.

No Brasil, a cerâmica vermelha teve início nos estados de Pernambuco, Bahia e Santa Catarina, de modo que, há cerca de 1500 anos, esses centros fornecem produtos cerâmicos para os mais variados estados Brasileiros. Em 1913, uma grande fábrica de louças deu início à era industrial da cerâmica, propiciando o surgimento de operários com conhecimento sobre esse tipo de indústria e lançando os conhecimentos da indústria moderna (MULLER et, al., 1990).

Segundo o Anuário Brasileiro de Cerâmica (ABCeram 2004), a abundância de matérias-primas naturais fez com que as indústrias brasileiras de cerâmica evoluíssem rapidamente. Também podemos citar que as fontes alternativas de energia e a disponibilidade de tecnologias contribuíram para esse crescimento.

Embora a indústria cerâmica nacional apresente um nível de evolução tecnológica satisfatório, em todo país ainda existe um grande número de pequenas olarias produzindo artesanalmente, como na região de Bagé – RS (QUINTANA, 2000) e na região de Santa Maria – RS (TAVARES 2002).

Esse dado é interessante, pois a região sul do Brasil (juntamente com a sudeste) é aquela que possui maior atividade industrial e agropecuária e melhor distribuição de renda (ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2004), logo, as olarias artesanais já deveriam ter sido substituídas por estruturas mais modernas.

## **2.2 Constituição mineralógica das argilas**

### **2.2.1 Constituição da fração argila dos solos**

A argila é a fração do solo, cujas partículas apresentam um diâmetro inferior a 0,002 mm e que adquire plasticidade em contato com a água. A fração argila, no entanto, não é constituída só de partículas que apresentam plasticidade. É constituída também de diversos tipos de partículas, que podem ser classificadas em substâncias inorgânicas (argilominerais e minerais não-argílicos) e substâncias orgânicas (PINHEIRO, 2003). A Tabela 2.1 apresenta em detalhe essa classificação.

Segundo Garcia & Nacentes (1974a), a argila é encontrada, por vezes, na vizinhança imediata da rocha-mãe, as quais são as argilas mais puras ou caulins. A argila transportada pelas águas ou pelo vento é a menos pura. Os dois tipos de argila distinguem-se pela plasticidade, densidade, cor e teor de impurezas minerais ou orgânicas.

De acordo com o Anuário Brasileiro de Cerâmica (ABCeram 2004), argila é um material de textura terrosa, de granulações finas, constituídas, essencialmente, de argilominerais, podendo conter outros minerais que não são argilominerais, matéria orgânica e outras impurezas.

As argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como “argilominerais”. Uma argila pode ser composta por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de diversos argilominerais. Além dos argilominerais, as argilas contêm, geralmente, outros materiais, tais como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, e podem conter, também, minerais não-cristalinos ou amorfos (SANTOS, 1989).

**Tabela 2.1 – Classificação dos diversos tipos de partículas que podem estar presentes na fração argila dos solos (PINHEIRO & SOARES, 2002).**

		Argilominerais
Substâncias Inorgânicas	Minerais não argílicos	Hidróxidos de Fe e Al
		Quartzo
		Micas
		Feldspatos
		Calcita e dolomita
Substâncias orgânicas	Vegetal (húmus)	
	Animal (microorganismos)	

### 2.2.2 Origem dos argilominerais

A respeito dos argilominerais formados diretamente dos minerais das rochas devido à ação de intemperismo químico, pode-se afirmar que: a) quando a drenagem é boa, os álcalis e os alcalino-terrosos são lixiviados e, na medida em que são liberados dos minerais pelos agentes de intemperismo, como o K e o Mg, ocorre a formação da caulinita; b) se a drenagem natural é deficiente, ou seja, se os álcalis e os alcalino-terrosos não são lixiviados (permanecendo o manto de intemperismo) e a rocha é rica em potássio, formam-se as illitas; c) se a rocha for rica em magnésio se formarão as montmorilonitas (PINHEIRO, 2003).

### 2.2.3 Estrutura cristalina

As estruturas argilosas estão dispostas em camadas de lâminas octaédricas de alumínio e tetraédricas de silício. As variações geométricas deste empilhamento e as substituições isomórficas geram argilas de composições e propriedades diferentes. As combinações de lâminas tetraédricas de silício ( $\text{SiO}_4$ ) com lâminas octaédricas de gipsita [ $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ ] constituem os diversos tipos de argila.

As estruturas básicas das argilas são de tipos bilaminares 1:1 (uma lâmina octaédrica e uma lâmina tetraédrica), que é a estrutura mais simples, e trilaminares 1:2 (uma lâmina octaédrica e duas lâminas tetraédricas) (KRAUSKOPF, 1972).

Segundo Pinheiro (2003), a classificação dos tipos de argilas é baseada no arranjo dessas camadas, no espaçamento entre elas e nos elementos químicos envolvidos. A análise por difração de raios-X é o método mais rápido e preciso de identificação dos tipos de argilominerais. A microscopia eletrônica (MEV) também é uma ferramenta importante. Análises químicas simples podem ser usadas para indicar a presença de matéria orgânica e outros constituintes. A análise térmica diferencial (*DTA - Diferencial thermal analysis*) e a gravimétrica (*Thermogravimetric analysis*) também são utilizadas para determinar os minerais argilosos e não argilosos dos solos.

#### 2.2.4 Composição química e mineralógica

- a) **Caulinita:** A unidade estrutural básica da caulinita é constituída de uma camada de tetraedros de sílica e de uma camada de octaedros de alumínio (gipsita), onde as hidroxilas desta são parcialmente substituídas pelos oxigênios dos vértices dos tetraedros da camada de sílica. A unidade estrutural da caulinita, do ponto de vista iônico, é neutra. Frequentemente, as caulinitas são constituídas de 6 unidades estruturais. A fórmula estrutural é  $(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}$  (PINHEIRO, 2003).
- b) **Montmorilonita:** O grupo das montmorilonitas, cujo nome depende da espécie e tipo, foi caracterizado pela primeira vez numa ocorrência em Montmorillon, França. Esse grupo também é conhecido por *grupo das esmectitas*, palavra que evidencia a estrutura esméctica ou lamelar

(GOMES, 1988). Possuem grande capacidade de absorção) água e de permuta catiônica (80 a 150 meq/100g), porque, além de apresentarem ligações quebradas nas extremidades, possuem cargas negativas nas superfícies das unidades estruturais (PINHEIRO, 2003).

- c) **Ilitas:** Em geral, águas alcalinas encontradas no fundo dos oceanos fornecem condições ideais para a formação de illita. Usualmente, as illitas ocorrem como partículas muito pequenas, lamelares, que aparecem misturadas com outras argilas e materiais não-argilosos. Depósitos de illita puros não têm sido localizados, como os depósitos de caulinita e montmorilonitas. O diâmetro médio das illitas varia entre 0,1 e 0,3  $\mu$  m. A área de superfície desses minerais é da ordem de 65 a 100  $m^2/g$  (PINHEIRO, 2003).
- d) **Compostos de ferro:** Em geral, as argilas, devido às suas formações geológicas, apresentam teores entre 4% e 8% de óxidos e/ou hidróxidos de ferro. O óxido de ferro, normal nas rochas ígneas, mistura-se geralmente com a caulinita, dando a cor vermelha ou amarelada da maioria das argilas. Em outros casos, forma pintas ou manchas. A cor dos produtos altera-se para vermelho-claro ou amarelo devido à presença de CaO e MgO (ZANDONADI & OSHIMOTO, 1991).
- e) **Quartzo:** Nas argilas com calcário, o quartzo finamente distribuído a 900°C reage com CaO, formando silicato de cálcio. Ele também aumenta a resistência mecânica, atuando como material inerte. Pela expansão decorrente de sua transformação polimorfa, o quartzo diminui sensivelmente a contração de queima das peças, aumenta a produção, melhora a qualidade do produto e diminui a quebra na produção. Já o quartzo em teores elevados e com granulometria grossa provoca efeitos contrários aos acima citados (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).
- f) **Micas:** São silicatos cujos tetraedros (agrupados em cadeias planas) dão nítido aspecto estratificado-plano. Os minerais micáceos são moles, elásticos e ocorrem no solo sob a forma de palhetas. Quanto mais alto for o

teor de mica, mais compressível e mais elástico é o solo. As micas ocorrem com frequência em solos residuais de gnaisses, mica-xisto e quartzitos micáceos (PINHEIRO, 2003).

- g) **Feldspatos:** são ricos em óxidos alcalinos e alcalino-terrosos. Os feldspatos são considerados fundentes, mas na cerâmica vermelha a temperatura de queima não é suficiente para que as reações ocorram entre eles e os demais componentes, sendo considerados materiais inertes (QUINTANA, 2000). Os feldspatos são os minerais mais comuns entre os minerais parcialmente alterados. A fração areia dos solos de alteração de granito é constituída de feldspatos alterados e de quartzo (PINHEIRO, 2003).
- h) **Carbonatos:** minerais não-silicatos, que aparecem nas argilas sob a forma de calcita, dolomita e magnesita. Em percentuais menores que 7%, com granulometria fina e homogeneizada uniformemente nas argilas, a reação ocorre entre os argilominerais e o quartzo, formando silicatos de cálcio quando a temperatura de queima for de 950°C ou maior (ZANDONADI & OSHIMOTO, 1991).
- i) **Matéria orgânica:** embora prejudicial ao comportamento mecânico dos solos, a presença de matéria orgânica em pequenas quantidades aumenta a plasticidade das argilas, ajudando na moldagem e aumentando a resistência mecânica a seco. Porém, matéria orgânica em excesso pode causar trincas na secagem e na queima devido à grande contração. Na queima, o excesso de matéria orgânica dificulta a combustão (oxidação), podendo ocorrer formação de núcleos pretos (MÜLLER et al., 1990).
- j) **Sais solúveis:** A maioria das argilas contém teores de sais solúveis ricos em elementos alcalinos e alcalino-terrosos (sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio). Quando em concentrações menores que 1%, esses sais ajudam na redução da temperatura de queima, devido a sua grande reatividade com os argilominerais e com a sílica. Em contrapartida, temperaturas acima de 800<sup>0</sup> C, facilitam a formação de “coração negro” e



umentam a contração linear de secagem (JORDÃO & ZANDONADI, 1994).

### 2.2.5 Materiais argilosos não-cristalinos

Minerais argilosos mal cristalizados, cuja estrutura é de difícil definição, são denominados *alofanos*. Os alofanos não possuem composição e formas bem definida, exibindo uma variação muito grande de suas propriedades físicas.

Todos os solos granulares finos provavelmente contenham algum material argiloso não-cristalino. Esses minerais são muito comuns em solos vulcânicos, devido à abundância de partículas de vidro nesses locais (PINHEIRO, 2003).

## 2.3 Argilas para cerâmica vermelha ou estrutural

As matérias-primas para produção de cerâmica vermelha são, geralmente, denominadas (na prática) de argilas, mas na realidade são constituídas de frações granulométricas que compreendem uma faixa de distribuição de tamanhos de grãos abrangendo desde areias até a fração argila (<0,002 mm).

As argilas costumam ser consideradas resíduos ou refugos geológicos, uma vez que são provenientes da decomposição de rochas ou minerais. Elas são misturas de toda a espécie de resíduos, incluindo não somente os argilominerais, mas também uma grande variedade de impurezas orgânicas e inorgânicas (SANTOS, 1989).

Pode-se dizer que as propriedades das argilas estão diretamente ligadas ao local de onde são extraídas. Desse modo, quanto ao local de extração, são classificadas em argilas de várzea e argilas de morro.

- Argilas de várzea: segundo Muller et al.(1990), essas argilas geralmente ocorrem às margens de rios, apresentando granulometria muito fina e muito plástica, o que indica a presença de matéria orgânica, resultando em alta perda ao fogo e contração linear. As argilas de várzea variam sua coloração natural de cinza claro a preto.

- Argilas de morro: são argilas com um baixo teor de matéria orgânica, freqüentemente com presença de cascalhos e seixos. Elas apresentam, após a queima, coloração variável entre amarela e vermelha (MÜLLER et al., 1990). Segundo Tavares (2002) são argilas que ocorrem em encostas e sopés de morros, consistindo em solos bem drenados com colorações diversas: marrom-claro, amarelo, rosa, cinza e ou variegada.
- Argilas magras ou não plásticas: para Müller et al. (1990), as argilas magras apresentam baixa plasticidade, que é típica de solos com elevados teores de sílica. Sua plasticidade deve ser corrigida com a adição de uma argila gorda (plástica), para melhorar as condições de moldagem e aumentar a resistência mecânica da peça em estado cru (após secagem em estufa).
- Argilas gordas ou plásticas: são argilas de elevados teores de argilominerais de granulometria muito fina e normalmente com elevado teor de óxido de ferro. As argilas gordas ou plásticas apresentam ótimas características de moldagem, com baixo consumo de energia. Na secagem, freqüentemente apresentam dificuldades, devido ao elevado teor de umidade e de retração. A queima se processa com apreciável contração de dimensões, causando o aparecimento de tensões, trincas e deformações. O surgimento desses defeitos pode ser evitado corrigindo-se a composição da massa cerâmica por meio da adição de argilas magras, com conseqüente redução da plasticidade e de problemas de secagem/queima (MÜLLER et al., 1990).

Segundo Santos (1989), no Brasil, as argilas gordas ou plásticas recebem o nome genérico de taguá, mas na verdade são argilas ilíticas. Geralmente, são argilas sedimentares ou folhelhos argilosos ricos em ferro e potássio, e de granulometria muito fina. A extração de taguás (folhelhos) muito pré-adensados, geralmente exige o uso de explosivos, a fim de vencer a compactação e dureza dessas argilas (ZANDONAD & OSHIMOTO, 1991).

## **2.4 Fabricação da cerâmica**

Para a fabricação dos produtos cerâmicos é necessário que a argila (matéria-prima) passe por várias etapas até que o produto cerâmico esteja pronto para uso. A

Figura 2.1 apresenta, de forma esquemática, a seqüência de fabricação de cerâmica vermelha.

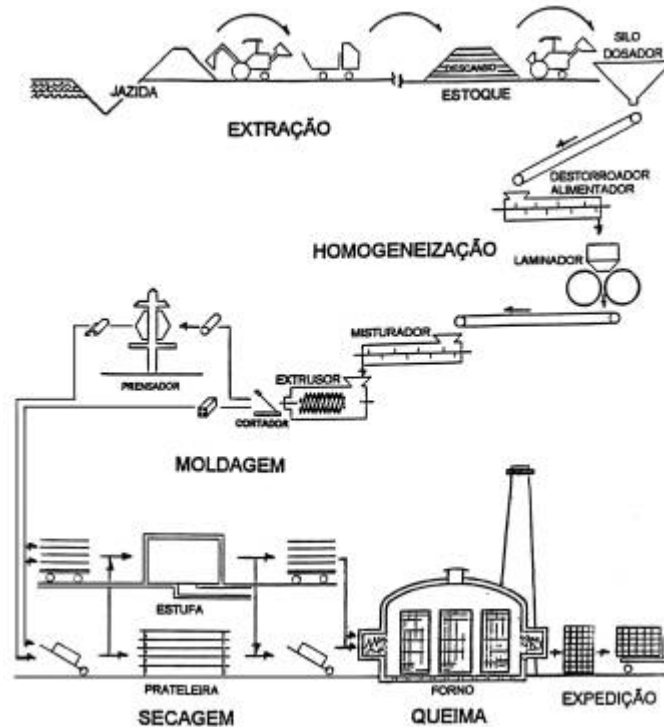


Figura 2.1 – Seqüência do processo de fabricação cerâmica (RIPOLI FILHO, 1996).

- a) **Extração e preparo da matéria-prima:** a extração a céu aberto é precedida pela remoção das camadas de solos superficiais (solo vegetal e raízes), até atingir-se a camada de argila a ser extraída (MÜLLER et al., 1990).

Segundo Verçoza, (1987) a argila, após sua extração, deve ser preparada para a industrialização. Esse preparo pode ter as mais variadas formas. Assim, por exemplo, já na própria jazida pode ser feita a seleção em lotes de mesma característica (composição, consistência, plasticidade etc.).

- b) **Estocagem:** desde a antiguidade, é prática comum a estocagem das argilas a céu aberto por longo período de tempo. O processo de intemperismo atuando sobre as argilas (sol, chuva, etc.) melhora sua plasticidade, lixivia os sais solúveis e homogeneiza a distribuição de água, entre outras

características (MÜLLER et al., 1990). Esse processo denomina-se sazonalidade (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

- c) **Beneficiamento:** as matérias-primas (essencialmente argilas, mas também areia e algumas rochas) têm seus fragmentos reduzidos de tamanho (por moagem, no caso de rochas ou por desagregação, no caso de argilas) e as partículas produzidas são separadas em faixas granulométricas (TOFFOLI, 1997).
- d) **Dosagem:** consiste na medida por pesagem ou por volume dos componentes da massa cerâmica. Na dosagem por pesagem tem-se maior precisão nos resultados, desde que se controle a umidade dos componentes da massa. No caso da dosagem por volume, além do controle da umidade, deve-se levar em consideração a granulometria dos componentes (PRACIDELLI, 1988).
- e) **Moldagem:** segundo Toffoli (1997), nesse processo, as peças cerâmicas adquirem uma forma que, em geral, é bastante próxima da forma final, se não for a própria forma final. Pode-se dividir a moldagem em quatro classes principais:
- Moldagem com Pasta Fluída.  
A argila é dissolvida em água e a solução vertida em moldes de gesso. Depois da deposição, a água é absorvida e a argila adere às paredes. Quando seca, a peça se retrai e se descola. É o processo usado para porcelanas, louças sanitárias, peças para instalação elétrica e peças de formato complexo (VERÇOZA, 1987);
  - Moldagem com Pasta Plástica.  
É o processo mais antigo. A cerâmica, bastante pastosa, é moldada em moldes de madeira ou no torno de oleiro. Atualmente, há processos mais modernos que os manuais, mas não conferem a mesma qualidade ao produto. A moldagem com pasta plástica é usada para vasos, tijolos brutos, pratos, xícaras, etc (VERÇOZA, 1987). O teor de umidade da

massa é ligeiramente superior ao empregado nas massas para extrusão (TOFFOLI, 1997);

- Moldagem com Pasta Plástica Consistente (extrusão).

É o método de formação de peça por meio de uma massa pastosa, com umidade variando entre 18 e 30%, dependendo do tipo de massa cerâmica (PRACIDELLI, 1988). A mistura é forçada através de um molde, de modo a formar uma coluna contínua, que pode ser cortada em comprimentos apropriados (TOFFOLI, 1997). Geralmente, o corte é feito por uma guilhotina formada de arames presos a um esquadro de madeira ou metal (VERÇOZA, 1987).

f) Prensagem: é o método de formação de peça que utiliza uma mistura contendo baixo teor de umidade, entre 5 e 15 % (PRACIDELLI, 1988). Prensa-se a mistura contra um molde no qual a pressão exercida sobre a massa é elevada, da ordem de centenas de  $\text{kgf/cm}^2$  (TOFFOLI, 1997). Esse processo é utilizado na fabricação de telhas ou tijolos. Na medida em que a pressão é aplicada, a massa preenche todos os espaços dos moldes. As máquinas de movimentos rotacionais (várias formas) facilitam o processo (MÜLLER et al., 1990).

g) **Secagem:** secagem é a eliminação por evaporação da água contida nas peças, por meio da utilização de ar aquecido. As peças cerâmicas são consideradas secas se ao final do processo ainda restarem entre 1 e 2% de umidade residual. No decorrer da secagem, as peças sofrem contrações, ocorrendo a formação de poros (PRACIDELLI, 1988).

A secagem deve ser feita lentamente e sob baixa temperatura (110-120° C), de modo que a água saia lentamente do interior da peça, sem causar deformações e/ou trincas (TOFFOLI, 1997). Por isso, é de grande importância a secagem prévia, devidamente controlada.

Segundo Verçoza (1987), há quatro processos básicos de secagem:

- Secagem natural: é o processo comum nas pequenas olarias, mas é demorado e exige grandes superfícies. Ela é feita em telheiros extensos, ao abrigo do sol e com ventilação controlada. Às vezes, é realizada em depósitos quase fechados, de madeira, colocados em torno e acima do forno, do qual aproveitam o calor;

- Secagem por ar quente-úmido: o material é posto nos secadores, onde recebe ar quente com alto teor de umidade, até grande redução da água absorvida. Posteriormente recebe só ar quente, para perder a água de capilaridade levando a deformações mínimas;
  - Secadores de túnel: são túneis pelos quais se faz passar o calor residual dos fornos (de 40 a 150° C). As peças são colocadas em vagonetas, que percorrem lentamente o túnel, no sentido da menor para a maior temperatura;
  - Secagem por radiação infravermelha: é pouco utilizada, por ter um alto custo e por servir somente para peças delgadas. No entanto, dá alto rendimento e pouca deformação. É usada para peças de precisão.
- h) Queima: é possível considerar a queima como a fase principal do processamento cerâmico, pois é nesta etapa que os custos envolvidos são maiores e a qualidade do produto é adquirida em maior escala. O objetivo básico da queima fornecer calor para que ocorram certas reações e transformações físico-químicas nos componentes da massa. Além da temperatura fornecida, um outro fator importante é o tempo de exposição da cerâmica a cada temperatura (MÜLLER et al., 1990), no qual influi não somente a temperatura alcançada, mas também a velocidade de aquecimento, de esfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno, combustível usado etc.
- i) **Fornos intermitentes ou periódicos** (Figura 2.2): segundo Oshimoto & Thomaz (1990), operam com lenha e são típicos das pequenas e médias indústrias. Podem ter ciclo de algumas horas, chegando a até um mês. abrangendo enforma, queima, resfriamento e desenforma. Os fornos de chama invertida destacam-se por apresentarem melhor homogeneidade na queima. Juntamente com a carga, aquecem-se as paredes, o piso, a abóbada e os canais que absorvem calor. Esses fornos são indicados para os casos de aquecimento e resfriamento longos, como em de peças de grandes dimensões (PRACIDELLI, 1988).

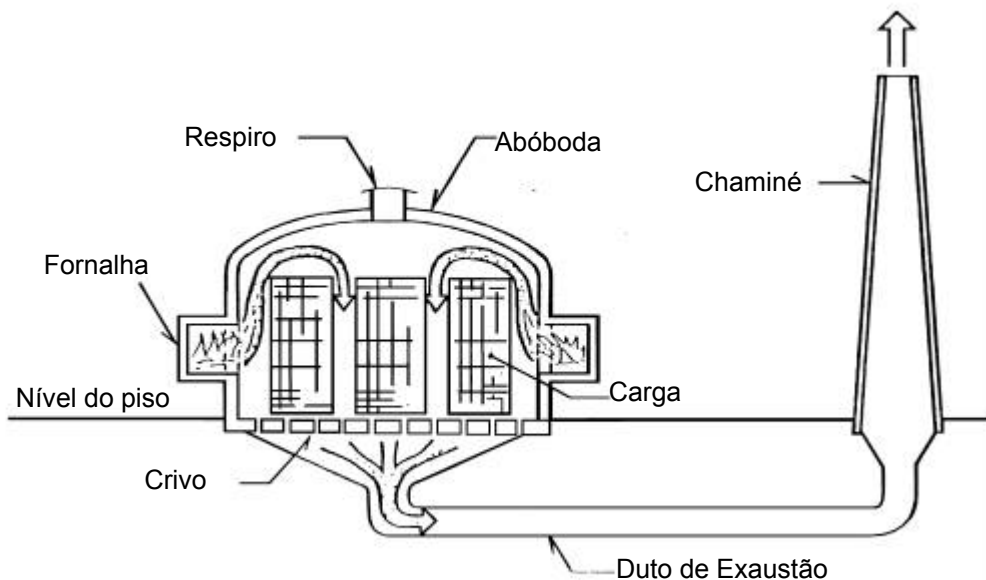


Figura 2.2 – Forno intermitente de chama invertida (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

- j) **Fornos contínuos** (Figura 2.3): nesses fornos, o material é que se movimenta, enquanto o fogo permanece fixo. O material a queimar é colocado sobre vagonetas, que percorrem lentamente a galeria, de uma extremidade a outra, sobre trilhos, empurradas com velocidade contínua. Em intervalos regulares, uma vagoneta é introduzida na galeria enquanto na extremidade oposta outra é retirada (PRACIDELLI, 1988). Os fornos contínuos possuem zonas específicas de temperatura por meio das quais as peças são deslocadas e cumprem um ciclo de queima pré-fixado (ZANDONADI, 1991).

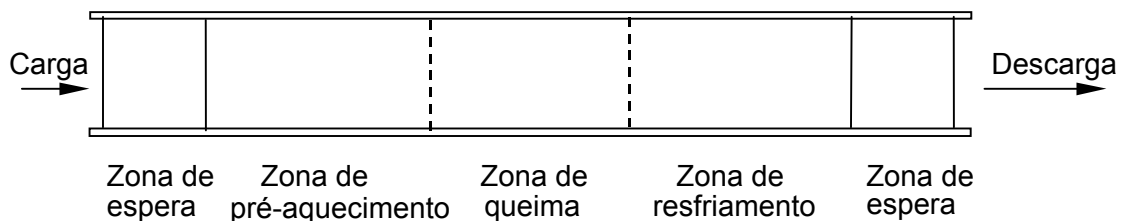


Figura 2.3 – Esquema de funcionamento de um forno contínuo (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

- k) **Fornos tipo Hoffmann** (Figura 2.4): usa o ar quente das câmaras em fogo para o pré-aquecimento das câmaras seguintes, pois todas são interligadas entre si, mantendo a produção contínua e promovendo uma economia

natural de energia (GRIGOLETTI, 2001). Para que esses fornos funcionem bem, deve haver uma perfeita concatenação entre as diversas operações realizadas nas câmaras subseqüentes (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990).

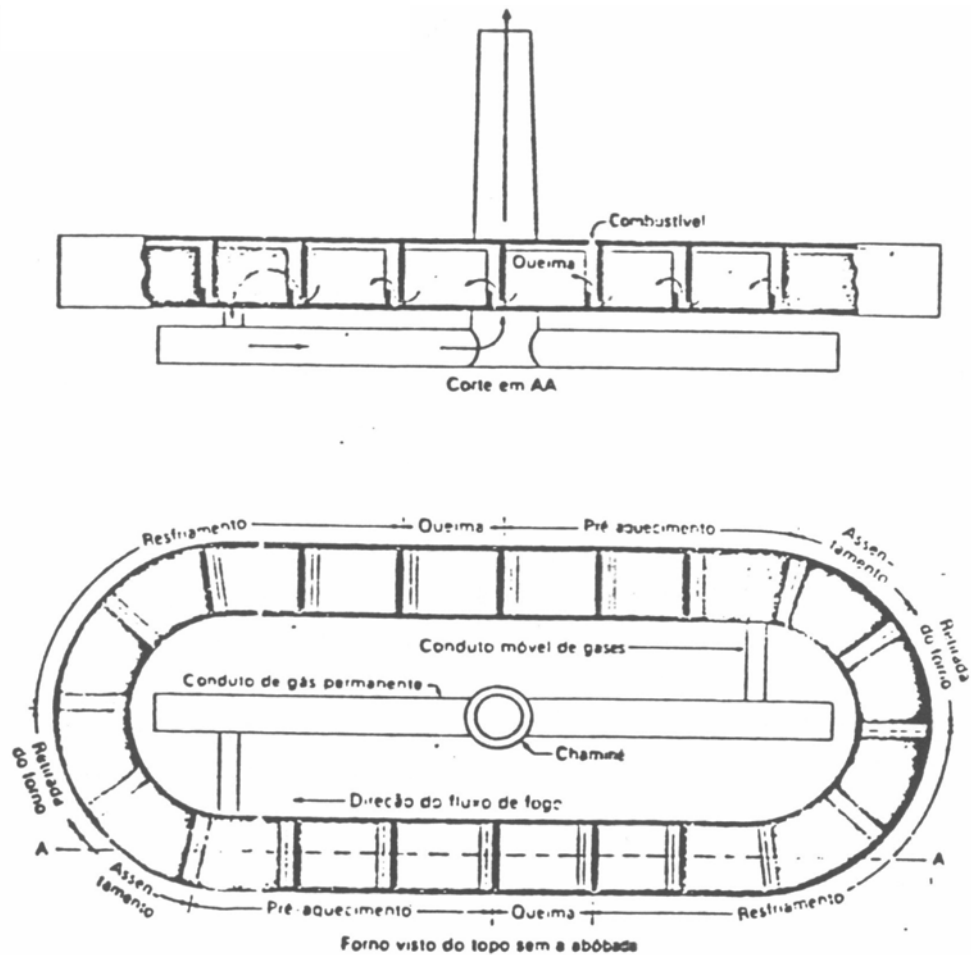


Figura 2.4 – Esquema de um forno Hoffmann (OSHIMOTO & THOMAZ, 1990)

## 2.5 Resíduos

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico, sem dúvida, trouxeram grandes benefícios à sociedade. Entretanto, aliados ao crescimento populacional e a um comportamento inadequado de consumo, provocaram várias conseqüências colaterais. Entre elas, destaca-se a poluição, principal agente de degradação do meio ambiente e de redução da qualidade de vida do homem (ROLIM, 2000).

A qualidade de vida das gerações futuras está cada vez mais dependente de uma boa gestão dos recursos naturais do nosso planeta atualmente. O crescimento



econômico não pode ser sustentado se não houver responsabilidade na utilização desses recursos (SIMÕES et al., 2004).

O problema do descarte de resíduos gerados na produção de bens de consumo ou duráveis agigantou-se nos últimos anos. Grandes áreas são transformadas em depósitos a céu aberto ou aterros que, mesmo monitorados, nem sempre são uma solução recomendada.

### 2.5.1 Resíduos sólidos

Segundo o Anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos do estado de São Paulo, de fevereiro de 2004, “Resíduos Sólidos” é um tema obrigatório na sociedade industrial em que vivemos, frente aos padrões de produção, consumo e ocupação do espaço que se estabeleceram e se intensificaram ao longo do século XX. Resíduos sólidos também é um tema abrangente. Ao contrário do que possa parecer à primeira vista, ele não se restringe à esfera ambiental, mas apresenta interfaces com a saúde pública, com o saneamento básico, com a economia e, nos grandes centros urbanos, com as questões sociais.

Os resíduos devem ser, primeiramente, reciclados, sendo que aqueles que não puderem ser reciclados devem ser incinerados; e os que não puderem passar por nenhuma das opções anteriores, devem ser dispostos em aterros sanitários (ROLIM, 2000).

John & Ângulo (2003) comentam que os custos associados à prática atual de gestão de resíduos são parte fundamental na avaliação da viabilidade econômica da reciclagem e, conseqüentemente, do interesse do gerador (indústria) no desenvolvimento de alternativas de reciclagem.

Quando se iniciou a produção dos mais variados bens duráveis ou de consumo, não havia a menor preocupação com os rejeitos gerados, pois a abundância de matérias-primas e a população socialmente ativa eram menores do que atualmente.

Com o aumento do consumo, a produção industrial também aumentou, conseqüentemente o volume de resíduo gerado cresceu e agregou-se ao gerado anteriormente. A construção civil tem feito grande esforço para consumir esses rejeitos, mas a maioria dos rejeitos não pode ser utilizada no estado em que se

encontra, ou seja, o rejeito para ser utilizado deve passar por algum tipo de tratamento, que por sua vez pode gerar um novo resíduo.

### 2.5.2 História da poluição ambiental

A história da poluição ambiental começou a ser escrita há vários séculos. Desde os primórdios da história formaram-se, por ação do Homem, vários produtos de despejo e resíduos que, na água dos rios ou na atmosfera, se mostraram tóxicos ou, pelo menos, incômodos. Por causa disso, tentou-se desde cedo controlar, através de decretos e normas, a produção e remoção desses detritos.

Na antiga Grécia, por exemplo, os curtumes, com seus gases de cheiro desagradável, só podiam ser construídos sob autorização especial. As fundições de prata eram obrigadas a ter chaminés particularmente altas, para que os gases tóxicos formados ( $\text{SO}_2$ ) pudessem se distribuir melhor pela atmosfera. Na antiga Roma, existia um decreto segundo o qual a instalação de matadouros, curtumes, fabricantes de azeite e lavanderias, que provocavam liberação de odores desagradáveis, era apenas permitida em locais desabitados.

Também os fornos dos fabricantes de vidro só podiam ser levantados em áreas restritas das cidades, devido aos gases poluentes libertados (HF). Por meio de uma iniciativa popular, os moradores da cidade de Goslar conseguiram proibir, em 1407, a calcinação de minérios nas vizinhanças da cidade, pois a poluição provocada pelo fumo das fundições tornara-se insuportável.

Os exemplos históricos mostram que o problema do comprometimento do meio ambiente, já existe há muito tempo. Porém, esse comprometimento era local (restrito a pequenas áreas), de modo que não se conhecia a capacidade de resistência da Terra como um todo. Por isso, acreditava-se, inicialmente, que o rápido aumento dos resíduos provenientes da industrialização dos últimos dois séculos poderia ser eliminado por meio de uma distribuição de águas e gases poluídos por uma área tão grande quanto possível.

Contudo, era errôneo nessa estimativa, o tempo necessário para a dissipação e degradação dos agentes poluidores. Esse erro foi primeiramente percebido nos rios e lagos. Pensava-se que os rios e lagos poderiam receber poluentes em grandes quantidades, sem maiores danos, devido ao fornecimento contínuo de água

limpa pelas fontes e à descarga da água contaminada nos oceanos. Por volta de 1900, contudo, percebeu-se que certos peixes particularmente sensíveis à poluição encontravam-se próximos da extinção, em diversos rios.

A pesca do esturjão (de cujas ovas se fabrica o caviar), bastante comum no Reno no século XIX, reduziu-se drasticamente no início do século XX, desaparecendo completamente em 1920. Atualmente, presenciamos até mesmo a poluição indistigável dos oceanos, praticamente sem sabermos o que fazer para evitar que a fauna marítima, pelo menos nas regiões costeiras, seja seriamente afetada. Os exemplos mostram que, ao contrário do que ocorria na Antiguidade e na Idade Média, a contaminação ambiental se converteu em um problema bem mais amplo, freqüentemente de caráter internacional ou mesmo planetário. (<http://homepage.oninet.pt/171mcm/projecto.htm>).

Rocha e John (2003) apresentam uma estimativa da geração de resíduos de compósitos na Europa (Figura 2.5).

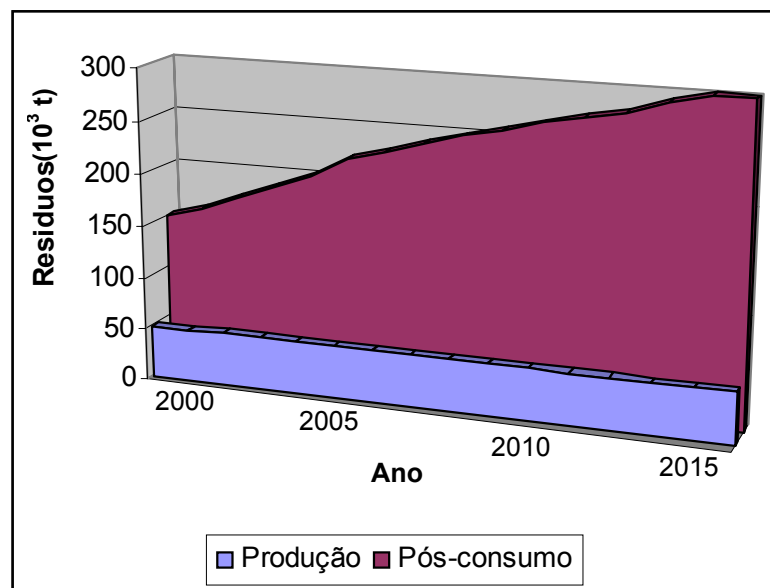


Figura 2.5 – Estimativa da geração de resíduos de compósitos na Europa (ROCHA & JOHN, 2003).

Segundo a Recicloteca (2004), o Brasil produz aproximadamente 230 mil toneladas de lixo por dia, sendo que cada brasileiro gera, em média, 500 gramas de

lixo diariamente, podendo chegar até a mais de 1kg, dependendo do poder aquisitivo e local em que mora. Assim, cada pessoa produz cerca de 180 kg de lixo por ano.

Cerca de 35% dos materiais do lixo coletado poderia ser reciclado ou reutilizado, e outros 35%, transformados em adubo orgânico. Do que é coletado, apenas uma pequena parte é destinada adequadamente em aterros sanitários, ao passo que a maioria é depositada, sem tratamento, em lixões.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto de Estudos da Religião (ISER), em 2001, publicaram o relatório “O que o Brasileiro Pensa do Meio Ambiente e do Consumo Sustentável”. Um dos dados deste relatório indica que 51% dos brasileiros preferem menos poluição à geração de empregos, demonstrando a preocupação da população com o meio ambiente.

### 2.5.3 Aproveitamento de resíduos

O grande volume de resíduos gerados nos pólos industriais chamou a atenção de pesquisadores para o reaproveitamento destes rejeitos na fabricação de novos produtos.

Com isso surgiram várias técnicas de reciclagem. Rocha & John (2003) propõem uma metodologia para o desenvolvimento da reciclagem de resíduos. Alguns conceitos são apresentados visando a um melhor enquadramento com relação ao aproveitamento de resíduos como materiais de construção, conforme segue abaixo e ilustra o esquema da Figura 2.6.

- Recuperação: retirada do resíduo do seu circuito tradicional de coleta e tratamento. Exemplo: recuperação de PET e papéis; do sistema de coleta formal; ou ainda, de lodos de tratamento de efluentes destinados à eliminação em aterros controlados;
- Valorização: dar um valor comercial a um determinado resíduo. Exemplo: vidros para a produção de silicatos e vitrocerâmicos;
- Valorização energética: utilização do poder calorífico dos resíduos. Exemplo: casca de arroz usada no processo de beneficiamento e secagem do arroz; madeiras destinadas à queima em caldeiras; incorporação de lodo em matrizes para redução dos tempos de queima, visando à eficiência energética;

- Reciclagem: introduzir o resíduo no seu ciclo de produção em substituição total/parcial de uma matéria-prima. Exemplo: areia industrial oriunda do processo de extração em pedreiras; reciclagem do resíduo de construção no concreto;
- Reemprego: novo emprego de um resíduo para uso análogo ao seu primeiro ciclo de produção. Exemplo: incorporação de argamassas ainda no estado fresco, que serão reprocessadas (moinho ANVAR) para a produção de uma nova argamassa; uso da água de lavagem de caminhões-betoneira na produção de concretos;
- Reutilização: aproveitamento de um resíduo, uma ou mais vezes, na sua forma original, sem beneficiamento. Exemplo: reutilização da areia de fundição nos moldes.

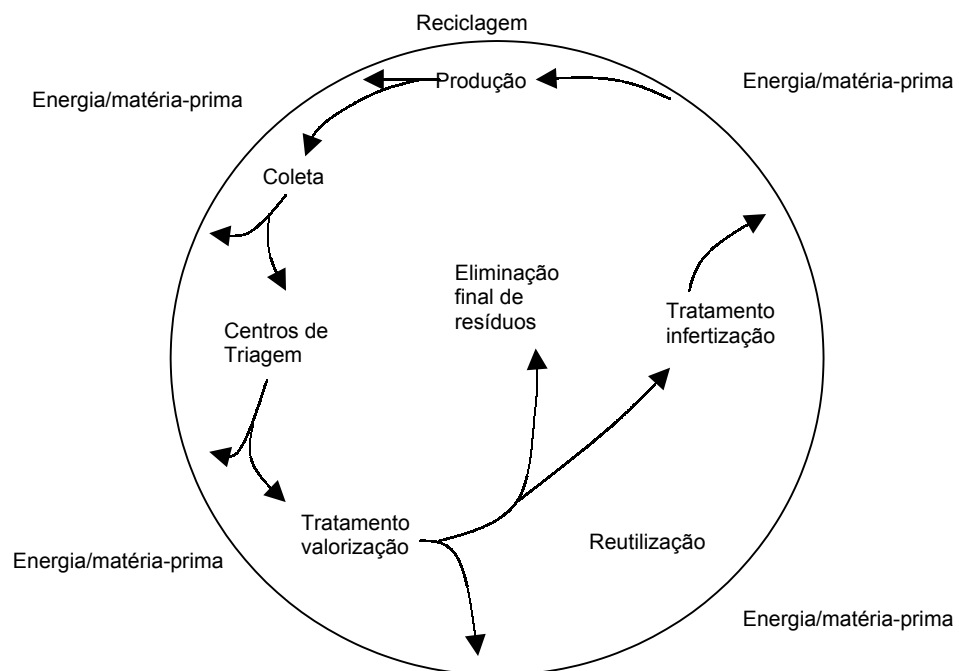


Figura 2.6 – Esquematisação dos processos de aproveitamento de resíduos (redução de matéria-prima e de eficiência energética) (Rocha & John, 2003).

Segundo Rocha & John (2003), as formas adequadas de aproveitamento de resíduos, ou subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem envolver: um completo conhecimento do processo nas unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e a identificação do potencial de aproveitamento e das características limitantes do uso e da aplicação. Já para os

resíduos gerados pelo setor da Construção Civil, durante as diversas etapas da construção, devem ser aprimoradas formas de minimização da geração de resíduos, e quando possível, a sua introdução no próprio processo ou unidade de serviço onde eles foram gerados.

Rocha & Cheriaf (2003) alertaram para a necessidade de identificação dos parâmetros estruturais, geométricos e ambientais dos resíduos, conforme procedimento esquematizado na Figura 2.7.

- a) Parâmetros estruturais: identificação e conhecimento da estrutura e composição dos resíduos, por meio da realização de ensaios: análise química, difractometria de raios-X, análise térmica diferencial, condutibilidade térmica e perda de massa ao fogo;
- b) Parâmetros geométricos: identificação da morfologia e textura do resíduo, por meio das seguintes análises: microscopia eletrônica de varredura, granulometria, superfície específica, solubilidade e viscosidade;
- c) Parâmetros ambientais: pH e identificação dos constituintes que podem ser potencialmente lixiviados e/ ou solubilizados dos resíduos;
- d) Outros parâmetros: identificação das propriedades relacionadas à unidade de geração do resíduo e das formas de beneficiamento que podem ser associadas: reologia, presença de óleos, graxas, conteúdo orgânico, pureza, consistência, capacidade de retenção de umidade e capacidade de moagem.

Figura 2.7 – Esquema geral para caracterização dos resíduos, adaptado de Rocha & Cheriaf (2003)

<b>Caracterização</b>	
<b>Parâmetros estruturais</b>	<b>Parâmetros geométricos</b>
Difratometria de raios X Análises termogravimétricas Análise química Espectrometria infravermelho	Granulometria Densidade Superfície específica Microscopia eletrônica de varredura
<b>Outros parâmetros</b>	<b>Parâmetros ambientais</b>
Reologia Matéria orgânica Consistência Pureza	Lixiviação de resíduos NBR 10005 Solubilização de resíduos NBR 10006 Testes adaptados de materiais

#### 2.5.4 Experiências com Reciclagem

O volume de reciclagem, no Brasil, ainda é pequeno, quando comparado com o dos países industrializados. Certamente, os problemas econômicos e as disparidades sociais contribuem para esse quadro.

A indústria cimenteira, sem dúvida, é a que possui maior experiência na reciclagem por meio do aproveitamento de escórias de alto forno básicas e de cinzas volantes (YAMAMOTO et al., apud ROCHA et al., 2003).

A areia de fundição pode ser utilizada como material de pavimentação, em base, sub-base e sub-leito, pois apresenta características compatíveis com os dos materiais tradicionais (JÚNIOR et al., 2004).

Com relação à indústria cerâmica, é possível citar vários trabalhos com foco na reciclagem dos mais variados rejeitos: adição de resíduos da serragem de mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha (XAVIER et al., 2001); uso de cinzas de incineração de lixo aeroportuário para obtenção de materiais cerâmicos (ZAKON et al., 2000), formulação de argila com resíduo de usinas siderúrgicas (RAMIRES, 2000).

A incorporação de resíduos de vidros em cerâmica vermelha diminui a absorção de água e aumenta a retração de queima e a tensão de ruptura. Embora

nessa pesquisa tenham sido utilizados pó de vidro de vasilhame, plano e tubo de TV, as diferenças observadas entre os resultados do uso de diferentes tipos de vidros ficam dentro da margem de erro das medições (GODINHO et al., 2004).

O rejeito do processo Bayer (lama vermelha) é mais uma alternativa na fabricação de produtos cerâmicos estruturais, sobretudo, pelo seu baixo custo (HILDEBRANDO et al., 1999).

Segundo Hörlle et al. (2004), uma opção para os resíduos de fundição (areia verde, pó de exaustão e areias de machos de fundição) é a sua utilização na fabricação de produtos cerâmicos de argila vermelha, pois os valores analisados indicam que muitas das formulações não afetam as propriedades da argila pura, havendo uma melhoria nas propriedades mecânicas.

Uma alternativa, com o intuito de melhorar as propriedades da argila utilizada em cerâmica vermelha e a reciclagem de rejeitos industriais, pode ser a utilização, como matéria-prima, do resíduo proveniente do acabamento de mármore e granitos (MELLO et al., 2004).

Diversos pesquisadores vêm estudando o reaproveitamento de resíduos, como o de resíduos industriais resultantes do beneficiamento de caulim (NEVES et al., 1999).

Em parceria com a UNICAMP, a TRW (antiga Freios Vargas) desenvolveu pesquisas com areia de fundição na produção de um tijolo denominado “ecossocial”, utilizando apenas mistura de areia de fundição, cimento e água, sendo sua secagem (cura) natural, sem a necessidade de fornos para a secagem do tijolo. O tijolo apresentou bom isolamento acústico e térmico.

No que diz respeito à adição de resíduo de indústria fumageira na massa para a produção de cerâmica vermelha, segundo Soares et al. (2003), a serragem de fumo pode ser adicionada à massa cerâmica para a produção de materiais cerâmicos por extrusão. As adições de 5 a 15% de serragem de fumo à massa indicaram ser viáveis tecnicamente, para temperaturas de queima entre 900 °C e 950 °C.

A serragem de couro curtido ao cromo é mais um possível acréscimo na massa para a produção de cerâmica vermelha, mostrando possuir potencial para produção por extrusão de materiais cerâmicos (SOARES et al., 2001).



Mothé et al. (2004), ao analisar a utilização de lodo residual do tratamento de água como adição à massa cerâmica, concluiu que a mistura do resíduo (lodo seco) com argila, variando-se a proporção do resíduo na mistura, de modo que não prejudique a qualidade do produto, é uma possibilidade viável.

## **3 METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

### **3.1 Introdução**

Nesse capítulo é apresentada a metodologia de coleta das argilas, ensaios de caracterização, análise química, difração de raios-X e ensaios cerâmicos. Para essa pesquisa foram utilizadas três amostras de solo argiloso e dois resíduos de fumo provenientes de uma indústria fumageira, sendo um na forma 'in natura' e outro com o pó de fumo queimado.

As três amostras de argilas utilizadas são oriundas de Venâncio Aires – RS, sendo comumente utilizadas como matéria-prima em uma olaria. Inicialmente, as argilas foram caracterizadas por meio de análise granulométrica, limites de liquidez, de plasticidade e de contração, e por meio da determinação da massa específica.

Para os ensaios cerâmicos, as amostras foram ensaiadas, em um primeiro momento, em seu estado natural, sem misturas. Posteriormente, foram realizados os ensaios cerâmicos com adições à massa cerâmica de pó de fumo 'in natura' e pó de fumo queimado, com proporções de 5%, 10%, 15% e 20%. Para analisar as propriedades das misturas depois de queimadas, foram selecionadas quatro temperaturas de queima para os corpos de prova: 800°C, 900°C, 950°C e 1050°C.

### **3.2 Coleta das amostras de argilas**

A coleta das amostras foi realizada pelo proprietário da olaria (Figura 3.1), de acordo com o método C-15, CIENTEC/95, que indica procedimentos para a amostragem preliminar de argilas para ensaios cerâmicos. De acordo com esse método, foram coletadas, por meio de escavação manual, amostras com 50 kg de solo, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas.

As argilas receberam as denominações de VA 01, VA 05 e VA 06. As iniciais que precedem a numeração são as primeiras letras do nome Venâncio Aires, de modo que a identificação indica local de coleta e número da amostra, respectivamente.



Figura 3.1 – Coleta de amostra de argila

### **3.3 Ensaio de caracterização**

As amostras de solo argiloso utilizadas nesse trabalho foram caracterizadas de acordo com os procedimentos de ensaios recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

#### **3.3.1 Preparação das amostras**

Para a realização dos ensaios de caracterização das argilas, de acordo com a NBR 6457/86, devem ser observadas as seguintes etapas:

- a) Secagem: a amostra de argila deve ser seca ao ar ou em estufa com temperatura até 40°C (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Secagem ao ar de amostras de argilas

- b) Destorroamento: após a secagem, o material é destorroado manualmente, com martelo de madeira, almofariz ou, ainda, com rolo metálico.
- c) Peneiramento: submeter todo o material à peneira nº 4 (malha com abertura 4,8mm).
- d) Quarteamento: reduzir a quantidade de material até ser obtida uma amostra representativa, isto é, em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.
- e) Amostragem: após o quarteamento, toma-se cerca de 5 kg de solo para a realização dos seguintes ensaios: determinação da massa específica (100g), análise granulométrica (1500g) e limites de consistência (300g).

Depois de as argilas terem sido preparadas realizou-se os seguintes ensaios:

- distribuição granulométrica (NBR 7181/84);
- limite de liquidez - WI - (NBR 6459/84);
- limite de plasticidade - Wp - (NBR 7180/84);
- limite de contração - Wc - (NBR 7183/82).
- massa específica real dos grãos -  $\rho$  (NBR 6508/84).

### **3.4 Análise química**

As análises químicas das argilas puras foram realizadas no Laboratório Químico Mineral “Lakefield Geosol Ltda” - Belo Horizonte (MG), que utiliza a técnica de fluorescência de raios-X, de fusão com tetraborato de lítio e de perda ao fogo (Pf) determinada pela calcinação a 1000 °C, até a constância de massa.

Os corpos de prova foram ensaiados no Laboratório de Química da UFSM, para a determinação dos elementos: cádmio, chumbo, fluoreto, mercúrio, selênio, arsênio, cromo, bário e prata. Além da determinação de metais presentes no pó de fumo e na cinza de pó de fumo, por meio da utilização de espectrometria de absorção atômica. As amostras foram decompostas em forno de microondas, tendo sido adotadas amostras de 800 mg de material e adicionados 4 ml de ácido nítrico concentrado, além de 2ml de peróxido de hidrogênio.

### **3.5 Difração de raios-X**

Os ensaios de difração de raios-X foram realizados no Laboratório de Difração de raios-X, do Departamento de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, utilizando-se as técnicas de amostras orientadas. As lâminas foram preparadas com amostra natural, calcinada e glicolada.

### **3.6 Ensaio cerâmicos**

#### **3.6.1 Preparação das Amostras**

As amostras coletadas segundo o método C-015, CIENTEC/95, devem ser secadas, destorroadas e peneiradas, conforme item 3.3.1, sendo que o material passante na peneira 4,8 mm (nº 4) deve ser quarteado, resultando em uma amostra de aproximadamente 12 kg. Essa amostra deve ser umedecida até atingir um teor de umidade (aproximadamente 20% de água) e de plasticidade adequado, que permita a moldagem por extrusão. A amostra deve permanecer acondicionada em sacos

plásticos e em repouso por um período mínimo de 24 horas, para assegurar-se a homogeneização da umidade.

### 3.6.2 Moldagem de corpos de prova

- a) **Moldagem dos corpos de prova por extrusão:** a amostra previamente umedecida é colocada na maromba, para moldagem de corpos de prova por extrusão (Figura 3.3), com aplicação de vácuo de 500 mm de Hg. Deve-se moldar pelo menos 6 corpos de prova com dimensões 100X20X10mm, para cada temperatura de queima. Depois de moldados, todos os corpos de prova devem ser identificados, pesados e marcados com sinais espaçados 80mm entre si, para posterior determinação das retrações de secagem e queima (Figura 3.4).



**Figura 3.3 – Extrusão a vácuo**



**Figura 3.4- Medição**

- b) **Secagem:** os corpos de prova são colocados em uma bandeja metálica segundo a face maior, envoltos por 48 horas em pano umedecido com água, devendo ter sua posição trocada a cada 12 horas, para evitar empenamento proveniente de secagem diferencial. Ao término desse período, os corpos são expostos ao ar para secagem, sendo apoiados sobre prateleiras de madeira segundo a face maior. Quando não mais apresentarem manchas escuras, eles são colocados em estufa elétrica a 40° C, por no mínimo 6 horas.

Na seqüência, a temperatura da estufa é regulada a 50°C por uma hora, a 60°C por mais uma hora e a 70°C por, no mínimo, 6 horas. Aumenta-se, então, a temperatura da estufa para 105°C  $\pm$  5°C, sob a qual permanecem os corpos de prova por, no mínimo, 6 horas (Figura 3.5). Desliga-se a estufa e deixa-se esfriar os corpos de prova por 2 horas, até  $\pm$  50°C.

Ao término dessa etapa, os corpos de prova são colocados no dessecador até esfriarem completamente, para posteriormente serem pesados (peso seco) e medidas as marcas de referência, para o cálculo da contração linear de secagem (Equação 2).



Figura 3.5 – Secagem a 105°C

- c) **Queima:** procede-se à queima dos 6 corpos de prova para cada uma das temperaturas: 800 °C, 900 °C, 950 °C e 1050 °C, com taxa de elevação da temperatura variando entre 1,5 e 2,5 °C/min e patamar de queima de 3 horas de duração, conforme pode ser observado na Tabela 3.1, que mostra valores pontuais das curvas de queima utilizadas, para cada temperatura. Ainda que realizado sem controle, o resfriamento é lento, deixando-se a temperatura cair naturalmente, sem abertura do forno antes que a temperatura interna (do forno) se estabilize em torno de 60°C.

**Tabela 3.1 – Velocidade de queima**

Tempo (h)	Temperaturas (°C) (para cada patamar de queima)			
	800°C	900°C	950°C	1050°C
1	150	150	150	150
2	250	250	250	300
3	350	350	400	450
4	500	500	550	600
5	650	650	700	750
6	800	800	850	900
7	800	900	950	1050
8	800	900	950	1050
9	800 (Desliga)	900	950	1050
10	-	900 (Desliga)	950 (Desliga)	1050

d) **Ensaio cerâmicos:** nessa pesquisa foram realizados os seguintes ensaios cerâmicos:

- Determinação da umidade de conformação (Método CIENTEC C-020/95);
- Determinação da contração linear de secagem (Método CIENTEC C-021/95);
- Determinação da tensão de ruptura a flexão de secagem (Método CIENTEC C-025/95);
- Determinação de contração linear de queima (Método CIENTEC C-026/95);
- Determinação da tensão de ruptura a flexão após a queima (Método CIENTEC C-027/95);
- Determinação da absorção de água após a queima (Método CIENTEC C-022/95);
- Determinação da porosidade aparente após a queima (Método CIENTEC C-023/95);
- Determinação da massa específica aparente após a queima (Método CIENTEC C-024/95);
- Determinação da perda ao fogo;
- Determinação da cor.



e) **Ensaio após secagem a 105 °C:**

- Umidade de conformação: pode ser determinada pela expressão:

$$W_{mold} = \frac{W_u - W_s}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$W_{mold}$  = umidade de conformação (%)

$W_u$  = peso do corpo de prova úmido após moldagem (g)

$W_s$  = peso do corpo de prova seco a 105° C (g)

- Contração linear de secagem: a contração linear de secagem é expressa pela seguinte equação:

$$Cl_s = \frac{L_o - L_s}{L_o} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$Cl_s$  = contração linear de secagem a 105 °C (%)

$L_o$  = medida linear inicial do corpo de prova (mm)

$L_s$  = medida linear do C.P. após secagem a 105 °C (mm)

A Figura 3.6 mostra a verificação dimensional dos corpos de prova, realizados logo após a moldagem (a verde) para posterior determinações das contrações lineares de secagem e de queima.



Figura 3.6 - Verificação dimensional após moldagem

- Tensão de ruptura a flexão: os corpos de prova são ensaiados a flexão, na condição de bi-apoiados, com aplicação de uma carga concentrada no ponto médio do vão livre, e com velocidade de 29,4 a 49 N/min. A Figura 3.7 mostra um esquema e a Figura 3.6, o ensaio de ruptura a flexão.

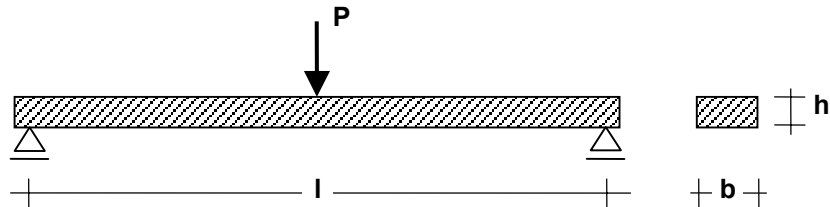


Figura 3.7 - Modelo de ruptura a flexão

O cálculo da tensão de ruptura a flexão é expresso pela equação:

$$Trs = \frac{3 P l}{2 b h^2} \quad (3)$$

Onde:

Trs = tensão de ruptura após secagem (MPa)

P = carga de ruptura (N)

l = distância entre os apoios (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

- e) **Ensaio após queima sob as diferentes temperaturas:** os corpos de prova, depois de queimados às quatro temperaturas, são submetidos aos ensaios de:

- Contração linear de queima:

$$Clq = \frac{Ls - Lq}{Ls} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

Clq = contração linear de queima a °C (%)

Lq = medida linear após queima a 105 °C do corpo de prova (mm)

- Tensão de ruptura a flexão: o procedimento é idêntico àquele para tensão de ruptura a flexão após secagem.

$$Trq = \frac{3 P l}{2 b h^2} \quad (5)$$

Onde:

Trq = tensão de ruptura após queima (MPa)

P = carga de ruptura (N)

l = distância entre os apoios (cm)

b = largura do corpo de prova (cm)

h = altura do corpo de prova (cm)

Na verificação das tensões de ruptura dos corpos de prova após secagem e queima, foram utilizadas: uma prensa hidráulica marca PLATICS BENDING TESTER tipo AS-102, onde foram adaptados: um indicador universal de processos marca NOVUS modelo N1500 e um transdutor de carga (célula de carga) marca KRATOS tipo 2BL 2890, com capacidade de 1KN, conforme pode ser observado na Figura 3.8.



Figura 3.8 - Ruptura a flexão simples (método dos três pontos)

- Absorção de água: a absorção de água pode ser calculada pela expressão:

$$Aa = \frac{Wu - Ws}{Ws} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

Aa = Absorção de água (%)

Wu = Massa do corpo de prova úmido

Ws = Massa do corpo de prova seco

- Porosidade aparente: a equação da porosidade aparente é:

$$Pa = \frac{Wu - Ws}{Wu - Wi} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

Pa = porosidade aparente (%)

Wu = Massa do corpo de prova úmido

Ws = Massa do corpo de prova seco

Wi = massa do corpo de prova saturado e imerso em água (g)

Na Figura 3.9, pode-se visualizar a pesagem dos corpos de prova após a queima, na condição de imersão em água, para determinação da porosidade aparente e da massa específica aparente.



Figura 3.9- Determinação da massa imersa de corpos de prova

- Massa específica aparente: a massa específica aparente pode ser expressa pela equação:

$$Mea = \frac{Ws}{Wu - Wi} \times \gamma_w \quad (8)$$

Onde:

Mea = massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Wu = massa do corpo de prova úmido

Ws = massa do corpo de prova seco

Wi = massa do corpo de prova saturado e imerso em água (g)

$\gamma_w$  = massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>)

- Perda ao fogo expressa por:

$$Pf = \frac{Ws - Wq}{Ws} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

Pf = perda ao fogo (%)

Wq = massa do corpo de prova após queima

Ws = massa do corpo de prova seco

Wi = massa do corpo de prova saturado e imerso em água (g)

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Introdução**

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados de caracterização das argilas estudadas na pesquisa, da análise química das argilas e pó de fumo queimado e da difração de raio-X das amostras de argilas. Os ensaios cerâmicos realizados nos corpos de provas moldados por extrusão compreenderam as determinações da umidade de conformação, contrações lineares de secagem e queima, resistência mecânica após secagem e queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e perda ao fogo.

### **4.2 Ensaio de caracterização**

As três amostras de argilas utilizadas nessa dissertação foram coletadas pela olaria, diretamente em suas jazidas, no seu estado natural e, posteriormente, enviadas ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), da Universidade Federal de Santa Maria. Essas amostras foram analisadas quanto ao limite de liquidez (WL), limite de plasticidade (Wp), limite de contração (Wc), massa específica real ( $\rho$ ) e granulometria conjunta por sedimentação com defloculante e peneiramento. A Tabela 4.1, abaixo mostra os resultados de caracterização das amostras utilizadas, onde VA01 significa que essa amostra foi coletada na jazida 01, que é utilizada para retirar matéria-prima para a confecção de materiais cerâmicos produzidos pela olaria. O mesmo se aplica para as outras duas amostras, VA05 e VA06.

O diagrama de Winkler (PRACIDELLI & MELCHIADES, 1997), apresentado na Figura 4.1, utiliza as frações granulométricas e indica para as amostras de argilas VA01 e VA06 o possível aproveitamento da argila em estudo na fabricação de tijolos furados (blocos), pois a amostra encontra-se próxima ou dentro da classe C, para a amostra de argila VA05 o uso deste diagrama indica um material próximo a classe A “podendo ser produzidos materiais de qualidade com dificuldades de produção”.

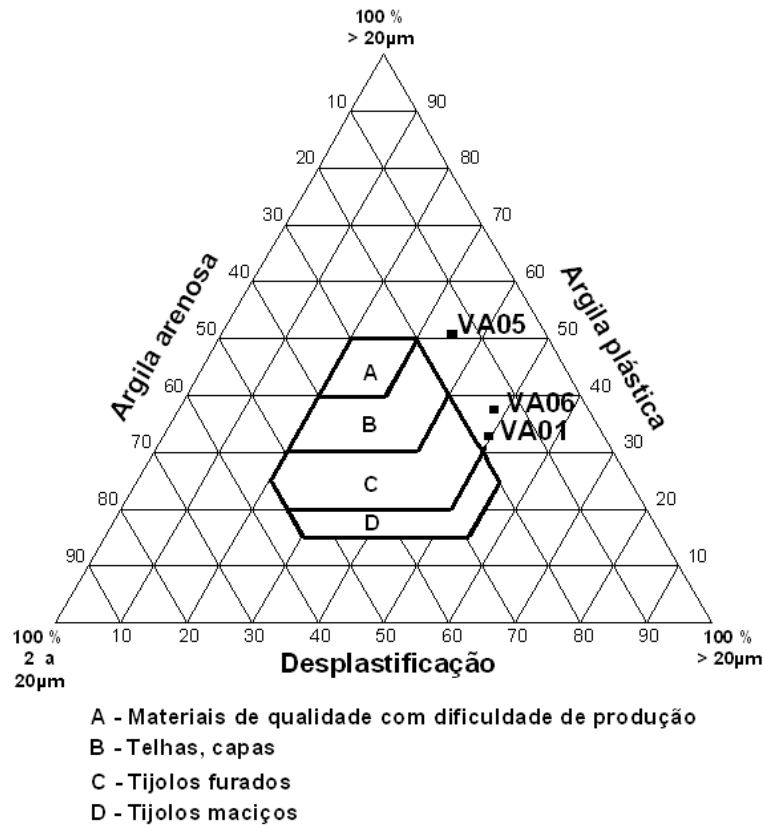


Figura 4.1 – Diagrama de Winkler

Tabela 4.1 – Caracterização das amostras de argilas

Am.	Wl (%)	Wp (%)	Wc (%)	Ip (%)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
VA01	50	28	14	22	2,77	34	46	20
VA05	60	24	14	36	2,77	51	29	20
VA06	50	24	11	26	2,76	37	38	25

### 4.3 Análise química

As amostras puras de argilas foram submetidas à análise química, na qual foram utilizadas as técnicas de fluorescência de raios-X, fusão com tetraborato de lítio e perda ao fogo (Pf) determinada pela calcinação a 1000 °C, realizadas pelo

Laboratório Químico Mineral “Lakefield Geosol Ltda”- Belo Horizonte (MG). A síntese dos resultados dos óxidos identificados nas amostras é apresentada na Tabela 4.2. Para uma complementação da análise química, foram feitas análises para a identificação de alguns produtos químicos que poderiam ser poluentes ou contaminantes, a partir do resíduo pó de fumo “in natura” e do resíduo pó de fumo queimado. O Laboratório de Química da UFSM realizou a análise química do resíduo e da cinza, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Depois de adicionado o resíduo à argila, foram confeccionados por extrusão vários corpos de prova, os quais foram queimados a várias temperaturas (800° C, 900° C, 950° C, 1050° C), a fim de realizarem-se ensaios de lixiviação para determinar a quantidade de elementos carregados pela lixiviação (Tabela 4.5).

A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação realizados com as amostras VA01 e VA05, bem como os valores máximos aceitáveis, conforme preconiza a NBR 10.004, Anexo F.

Observa-se nessa tabela que as concentrações de elementos carregados nos ensaios de lixiviação estão abaixo daqueles valores máximos aceitáveis pela NBR 10.004.

**Tabela 4.2 – Análise química das amostras de argilas**

Am.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pf
VA01	69,4	15,9	0,80	4,7	0,05	1,1	0,59	0,39	1,5	0,026	7,34
VA05	66,6	14,3	1,6	8,6	0,06	0,49	0,38	0,31	0,49	0,052	8,15
VA06	66,2	13,1	1,4	8,9	0,18	0,83	0,36	0,42	0,99	0,031	8,82
Ref.	59,1	8,4	0,31	6,0	0,22	8,1	7,2	0,21	1,4	0,082	---

Obs: ref. Amostra referência para controle de qualidade



**Tabela 4.3 – Análise química resíduo**

Resultados	Resíduo	Resíduo	Resíduo
Antimônio	< 5,0 mg/L	< 5,0 mg/L	<5,0 mg/L
Arsênio	0,55 ±0,02 mg/L	0,97 ±0,09 mg/L	0,72 ±0,10 mg/L
Cádmio	0,40 ±0,01 mg/L	0,39 ±0,01 mg/L	0,39 ±0,01 mg/L
Chumbo	3,25 ±0,14 mg/L	3,92 ±0,86 mg/L	3,06 ±0,05 mg/L
Cobre	25,5 ±0,15 mg/L	27,5 ±1,90 mg/L	22,2 ±1,5 mg/L
Crômio	7,4 ±0,1 mg/L	8,8 ±1,3 mg/L	7,1 ±0,3 mg/L
Mercúrio	<0,10 mg/L	,0,10 mg/L	<0,10 mg/L
Níquel	2,3 ±0,01 mg/L	2,6 ±0,4 mg/L	2,1 ±0,1 mg/L

**Tabela 4.4 – Análise Química Cinza**

Resultados	Cinza	Cinza	Cinza
Antimônio	<5,0 mg/L	<5,0 mg/L	<5,0 mg/L
Arsênio	--	2,88 ±0,23	2,76 ±0,20
Cádmio	1,32 ±0,03	1,39 ±0,03	1,44 ±0,03
Chumbo	12,17 ±0,36	11,54 ±0,45	12,11 ±0,30
Cobre	59,0 ±3,6 mg/L	55,5 ±0,15	53,2 ±1,7 mg/L
Crômio	17,6 ±0,1 mg/L	18,0 ±0,2 mg/L	18,1 ±0,5 mg/L
Mercúrio	<0,10 mg/L	<,010 mg/L	<0,10 mg/L
Níquel	4,2 ±0,4 mg/L	4,5 ±0,4 mg/L	4,4 ±0,5 mg/L

**Tabela 4.5 – Ensaio de lixiviação de corpos de prova queimados à 950°C com adição de resíduo**

Resultados	VA01 5%	VA05 10%	Parâmetros NBR 100004
Arsênio:	9,28 ±0,7 µg/L	11,8 ±1,7µg/L	1,0 mg/L
Bário:	<20,0mg/L	<20,0mg/L	70 mg/L
Cádmio:	<5,0µg/L	<5,0µg/L	0,5 mg/L
Chumbo:	<2,0µg/L	<2,0µg/L	1,0 mg/L
Cromio:	<5,0µg/L	<5,0µg/L	5,0 mg/L
Fluoreto:	<0,27±0,03 mg/L	<0,25mg/L	150 mg/L
Mercúrio:	<0,20mg/L	<0,20mg/L	0,1 mg/L
Prata:	<0,50mg/L	<0,50mg/L	5,0 mg/L
Selênio:	<0,20mg/L	<0,20mg/L	1,0 mg/L

#### 4.4 Difração de raios-X

Para avaliar os argilominerais presentes nas três amostras de argilas, as lâminas foram preparadas com amostras natural, glicolada e calcinada, utilizando-se a técnica de amostras orientadas, glicoladas e calcinadas. Os resultados encontrados estão sintetizados nas Tabelas 4.6 a 4.8, para Difractometria de raios-X das amostras analisadas sob forma natural, Difractometria de raios-X das amostras analisadas com saturação em etilenoglicol e Difractometria de Raios-X das amostras analisadas sob forma calcinada a 500 C, respectivamente.

As figuras dos ensaios de difração de raios-x realizados com as amostras VA01, VA05 e VA06 são mostradas no apêndice A os gráficos possuem um código que identifica o tipo de tratamento empregado na análise.

N - amostra analisada sob forma natural.

G - amostra analisada com saturação em etilenoglicol

C - amostra analisada sob forma calcinada a 500 C

**Tabela 4.6 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas sob forma natural**

Amostra	Argilominerais encontrados
VA01	Esmectita, illita, caolinita, quartzo
VA05	Esmectita, illita, caolinita, cristobalita, quartzo, feldspato alcalino
VA06	Esmectita, illita, caolinita, quartzo

**Tabela 4.7 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas com saturação em etilenoglicol**

Amostra	Argilominerais encontrados
VA01	Esmectita expandida, illita, caolinita, anatásio, quartzo, feldspato alcalino
VA05	Esmectita expandida, illita, caolinita, cristobalita, quartzo
VA06	Esmectita expandida, illita, caolinita, cristobalita, quartzo

**Tabela 4.8 – Difractometria de raios-X das amostras analisadas sob forma calcinada a 500 C**

Amostra	Argilominerais encontrados
VA01	Ilita + esmectita colapsada, anatásio, quartzo, feldspato alcalino
VA05	Ilita + esmectita colapsada, cristobalita, quartzo, feldspato alcalino
VA06	Ilita + esmectita colapsada, quartzo, feldspato alcalino

Com o intuito de identificar algum argilomineral presente na amostra de rejeito pó de fumo queimado, esta também foi estudada utilizando-se das mesmas técnicas citadas acima, além da análise de mineralogia total, sendo seus possíveis constituintes apresentados na Figura 4.2 e na Tabela 4.9.

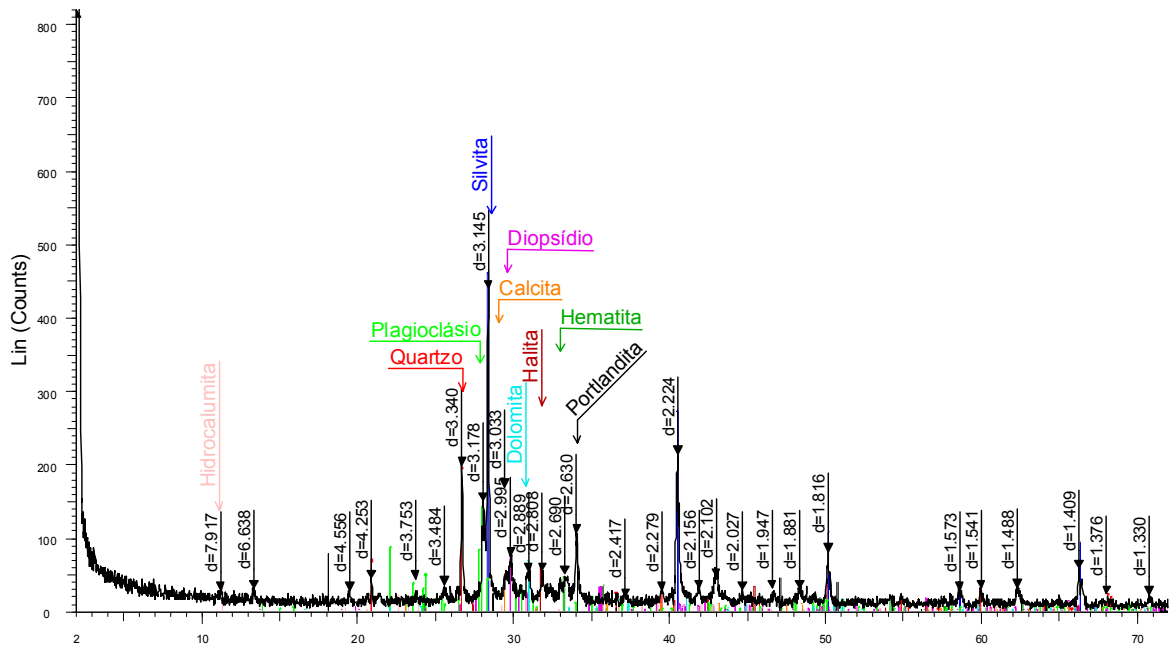


Figura 4.2 – Difractometria de raios-X da amostra pó de fumo queimado.

Tabela 4.9 – Difractometria de raios-X da amostra pó de fumo queimado.

Amostra	Argilominerais encontrados	Forma
Cinza	Quartzo, plagioclásio	Natural
	Hydrocalumita	Glicolada
	Hydrocalumita, plagioclásio	Calcina
	Hydrocalumita, Quartzo, plagioclásio, silvita, diopsídio, calcita, dolomita, halita, hematita, portlandita	Análise mineralogia total

## 4.5 Ensaios cerâmicos

### 4.5.1 Introdução

As amostras de argilas, após serem coletadas de acordo com o item 3.3.1 do Capítulo 3 dessa dissertação e preparadas de acordo com os itens 3.6.1, foram moldadas por extrusão.

A extrusão das três amostras, VA01, VA05, VA06, ocorreu com a aplicação de 500 mm de Hg de vácuo e com adições de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo de

pó de fumo 'in natura' e de cinza de pó de fumo queimado. As amostras foram analisadas quanto a: Contração linear de secagem (Cl<sub>s</sub>), contração linear de queima (Cl<sub>q</sub>), contração linear total (Cl<sub>t</sub>), tensão de ruptura (Tr), absorção de água (Aa), porosidade aparente (Pa), massa específica aparente (Mea) e perda ao fogo (Pf).

#### 4.5.2 Ensaios cerâmicos sem adição e com adição de resíduo de pó de fumo.

As Tabelas 4.9 a 4.13 mostram os valores encontrados para a adição das percentagens à amostra VA01. Nas Tabelas 4.14 a 4.18 são apresentados os valores das adições à amostra VA 05. E as Tabelas 4.19 a 4.23 listam os valores encontrados para as adições à amostra VA06. Estas tabelas encontram-se no apêndice B.

#### 4.5.3 Ensaios cerâmicos com adição de cinza de pó de fumo

Para uma complementação da pesquisa, as amostras VA01, VA05 e VA06, também foram extrudadas com a aplicação de 500 mm de Hg de vácuo e com adições de 5%,10%,15% e 20% de resíduo de pó de fumo queimado. As determinações da umidade de conformação, contrações lineares de secagem e queima, resistência mecânica após secagem e queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e perda ao fogo, foram listadas nas Tabelas 4.24 a 4.27, para as adições na amostra VA01, nas Tabelas 4.28 a 4.31 , para as adições na amostra VA05 e nas Tabelas 4.32 a 4.35, para as adições na amostra VA06.

Todas as tabelas citas acima encontram-se no apêndice B.

## **4.6 Análise dos ensaios com amostra de argila VA01**

### 4.6.1 Contrações lineares médias

A argila VA01 foi moldada por extrusão, com valores de adição de 0% a 20% de resíduo e cinza. A Tabela 4.10 apresenta as faixas de variação das contrações médias dos corpos de prova com adição de resíduo para temperaturas variando entre 105 e 1050 °C. Em função da presença de esmectita (Tabela 4.6) e de uma

percentagem de argila equivalente a 34%, os valores de contração linear de secagem média são superiores a 6%, o qual é um valor recomendado como limite superior. Valores elevados de contração linear total estão associados a grandes variações volumétricas das peças, principalmente, na fase de secagem.

Nessa condição, a velocidade de secagem (saída de água dos vazios) pode levar a empenamentos (secagem diferencial) e à excessiva concentração de tensões (trincas e fissuras). Por ser um material de fina granulometria, a VA01 é recomendada a adição de material arenoso, para a redução da plasticidade e da contração.

Tabela 4.11 apresenta os valores médios de contrações lineares de séries de corpos de prova com a amostra VA01 e com adições de cinza de 0 a 20%. Observa-se nessa tabela, que os valores médios de contração linear total são superiores aos recomendados (12%), devido à composição química e mineralógica da argila.

O efeito da adição de cinza na mistura, que é a análise mais importante, mostra uma redução da contração linear com taxas crescentes de adição. A adição de 10% de cinza na argila VA01 reduz a contração linear total a valores próximos do limite superior aceitável, indicando um possível uso para a fabricação de materiais cerâmicos a ser confirmado em testes na olaria, por meio de produção experimental.

**Tabela 4.10 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA01 – resíduo**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	14,50 - 14,63	12,73 – 13,20	12,43 – 12,61	12,63 – 13,17	12,33 – 12,89
CLq	1,11 - 3,34	0,63 – 4,14	0,46 – 4,26	0,09 – 4,66	1,97 – 4,29
CLt	15,49 – 17,38	13,26 – 16,79	12,89 – 16,33	13,24 – 16,94	14,47 – 16,47

**Tabela 4.11 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA01 - cinza**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	14,50 - 14,63	9,12- 9,47	7,97 – 8,26	7,93 – 8,12	7,49 – 7,72
CLq	1,11 - 3,34	0,03 – 3,78	-0,19 – 4,58	0,08 – 5,40	0,13 – 5,68
CLt	15,49 – 17,38	9,49 – 12,61	7,79 – 12,46	8,19 – 12,90	7,84 – 12,74

#### 4.6.2 Absorção de água VA01 - resíduo/cinza

Quanto à absorção de água da amostra de argila VA01 com as adições de resíduo (0 a 20%) e cinza (0 a 20%), pode-se observar na Figura 4.3, que os valores encontrados para todas as misturas ficam abaixo dos parâmetros máximos recomendados (20% para blocos e 18% para telhas), mostrando que a argila pode ser utilizada com todas as adições, tanto de pó de fumo (resíduo) como de pó de fumo queimado (cinza).

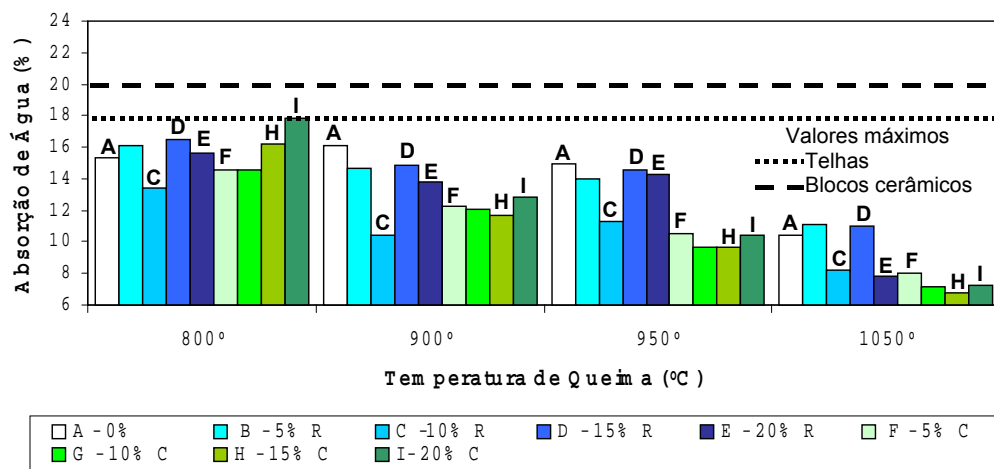


Figura 4.3 – Absorção de água VA01 (geral)

#### 4.6.3 Tensão de ruptura VA01 - resíduo/cinza

Quando comparadas as adições de resíduo e cinza quanto à tensão de ruptura, observa-se que as duas formas de adição mostram valores acima dos recomendados para a fabricação de produtos cerâmicos (Figura 4.4). Analisando as Tabelas 4.10 a 4.14 e 4.25 a 4.28, percebe-se que o comportamento da adição de cinza mostra-se consistente, enquanto que a adição de resíduo indica valores que não apresentam uma tendência definida.

Para a confecção de produtos cerâmicos em temperatura de queima superior ou igual a 900 °C, em função da sinterização dos constituintes, a cinza mostra um comportamento consistente.

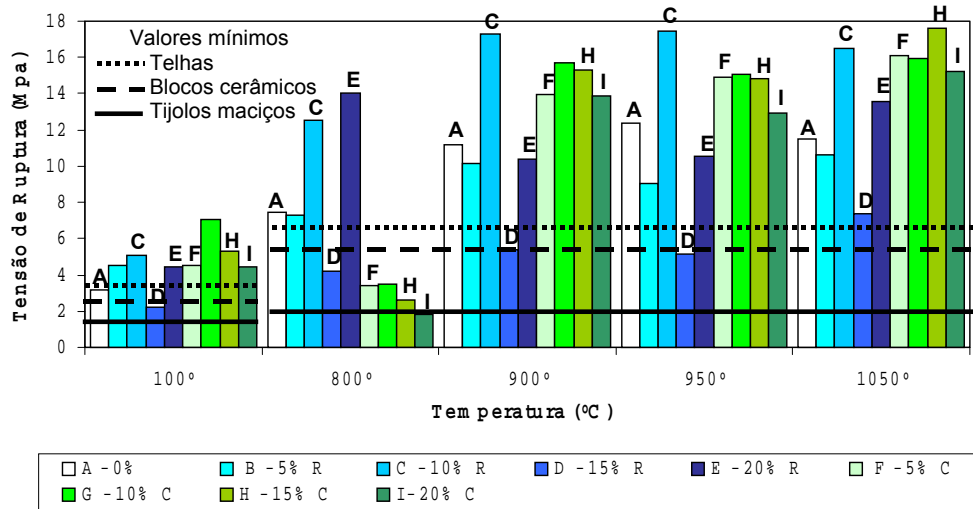


Figura 4.4 – Tensão de ruptura VA01 (geral)

## 4.7 Análise de ensaios com amostra de argila VA05

### 4.7.1 Contrações lineares médias

As contrações lineares da amostra de argila VA05 podem ser analisadas nas Tabelas 4.12 (resíduo) e 4.13 (cinza). A presença de 51% de argila resultou em uma contração linear total variando de 16,54 a 20,13%, confirmando ser um material de granulometria fina e de grande plasticidade. O seu emprego puro na fabricação de produtos cerâmicos resultaria em sérios problemas de produção, como deformações e trincas, sendo recomendada a adição de material arenoso.

Quando adicionado o resíduo, as contrações lineares reduzem, porém, elas ainda mostram-se acima dos valores recomendados. A concentração de fração sílica na cinza, quando adicionada nas taxas de 5 a 20%, resulta em contrações lineares totais dentro de faixa aceitável (menor que 12%).



**Tabela 4.12 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA05 – resíduo.**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	11,84 – 12,59	12,67 – 13,26	10,61 – 11,15	10,66 – 11,50	10,93 – 11,13
CLq	4,55 – 8,62	0,61 – 4,79	0,55 – 4,36	0,79 – 3,85	0,58 – 4,02
CLt	16,54 – 20,13	13,29 – 17,42	11,64 – 14,92	11,67 – 14,91	12,05 – 14,68

**Tabela 4.13 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA05 - cinza.**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	11,84 12,59	6,90 – 7,17	6,19 – 6,35	6,79 – 7,15	6,23 – 6,31
CLq	4,55 – 8,62	0,49 – 4,25	0,60 – 4,71	0,58 – 5,17	0,64 – 5,92
CLt	16,54 – 20,13	7,36 – 10,86	6,75 – 10,77	7,33 – 11,95	6,88 – 11,85

#### 4.7.2 Absorção de água VA05 - resíduo/cinza

A Figura 4.5 mostra o comportamento da argila VA05 quanto à absorção de água, em função das diferentes taxas de adição de resíduo ou de cinza do resíduo. Observa-se que as adições de resíduo levam a maiores valores de absorção de água em comparação com as adições de cinza. Isso é compreensível, uma vez que o pó de fumo ao ser queimado, gera vazios durante a fase de queima dos corpos de prova.

A absorção de água está abaixo dos valores máximos aceitáveis para todas as taxas de adição de cinza, para as temperaturas usuais de queima de cerâmica vermelha.

Para o resíduo 'in natura' (pó de fumo), os valores mais altos de absorção de água estão próximos ou são levemente superiores àqueles máximos recomendados devendo ser observadas as temperaturas de queima acima de 900 °C.

O uso da cinza como adição é mais indicado do que o de resíduo, pois apresenta valores de absorção de água abaixo dos recomendados por Santos

(1989) para temperaturas superiores a 900 °C., em função da sinterização dos constituintes da cinza (sílica) ocorrer próxima a essa temperatura.

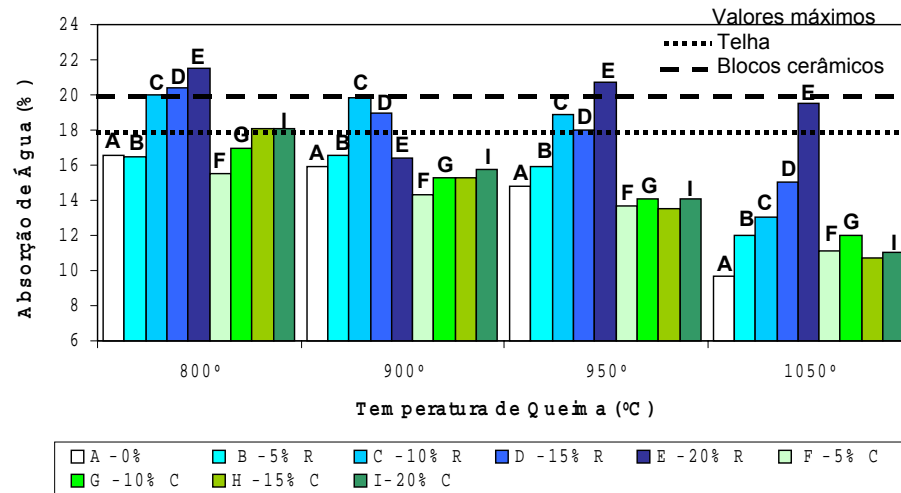


Figura 4.5 – Absorção de água –VA05 geral

#### 4.7.3 Tensão de ruptura VA05 - resíduo/cinza

A Figura 4.6 mostra que os valores mínimos recomendados por Santos (1989) para a fabricação de produtos cerâmicos são atendidos com a adição tanto de resíduo, quanto de cinza. A porosidade aparente e a conseqüente elevada absorção de água da adição de resíduo conferem uma redução na tensão de ruptura para as percentagens de 10, 15 e 20%.

Todas as taxas de adição de cinza indicam tensões de ruptura superiores aos valores mínimos recomendados para os diferentes tipos de produtos, especialmente para temperaturas de queima superiores a 900° C.

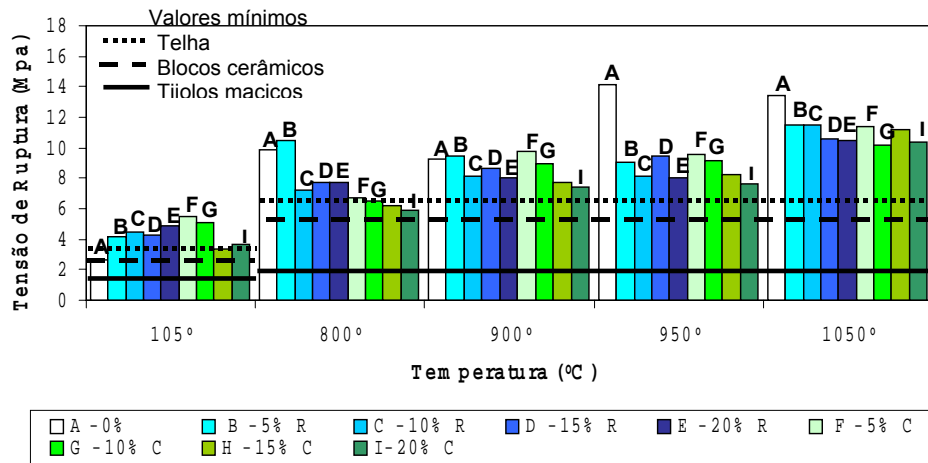


Figura 4.6 – Tensão de ruptura –VA05 geral

## 4.8 Análise de ensaios com amostra de argila VA06

### 4.8.1 Contrações lineares médias

Com presença de 37% de argila em sua constituição mineralógica, indicando um solo de granulometria fina, os valores de contração linear diminuem com a taxa crescente do resíduo (Tabela 4.14).

Quando a cinza é adicionada à massa cerâmica (Tabela 4.15), ocorre uma queda nos valores de contração linear, em função da provável presença de sílica na constituição da cinza (Tabela 4.9), apresentando (a amostra VA06) valores abaixo daqueles recomendados por Santos (1989).

**Tabela 4.14 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA06 – resíduo.**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	10,80 - 12,78	10,45 - 11,58	10,91 - 11,29	10,48 - 11,29	7,50 - 7,68
CLq	1,05 - 1,88	0,70 - 2,67	1,10 - 3,12	0,84 - 3,00	0,49 - 2,44
CLt	13,08 - 14,43	11,28 - 13,82	12,25 - 14,06	11,24 - 13,16	8,09 - 9,93

**Tabela 4.15 – Contrações lineares (secagem, queima e total) – VA06 - cinza.**

	Adição de 0%	Adição de 5%	Adição de 10%	Adição de 15%	Adição de 20%
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média %
CLs	10,80 - 12,78	6,17 - 6,67	5,99 - 6,19	5,87 - 6,54	6,04 - 6,09
CLq	1,05 - 1,88	0,56 - 3,82	0,40 - 3,97	0,52 - 4,74	0,39 - 4,74
CLt	13,08 - 14,43	6,69 - 10,24	6,57 - 9,91	7,02 - 10,33	6,41 - 10,49

#### 4.8.2 Absorção de água VA06 - resíduo/cinza

A porosidade aparente (Tabelas 4.21 a 4.24) da argila VA06 resulta em uma elevada absorção de água, mostrando somente valores abaixo dos máximos recomendados (18% telhas e 20% blocos) para taxas de 0 e 20% de adição de resíduo e para temperatura de queima acima de 900° C.

A cinza adicionada confere uma absorção de água abaixo do máximo recomendado, para temperatura de queima acima de 900° C, em função da sinterização dos seus constituintes, podendo-se utilizar todas as adições de cinza estudadas nessa pesquisa (Figura 4.7).

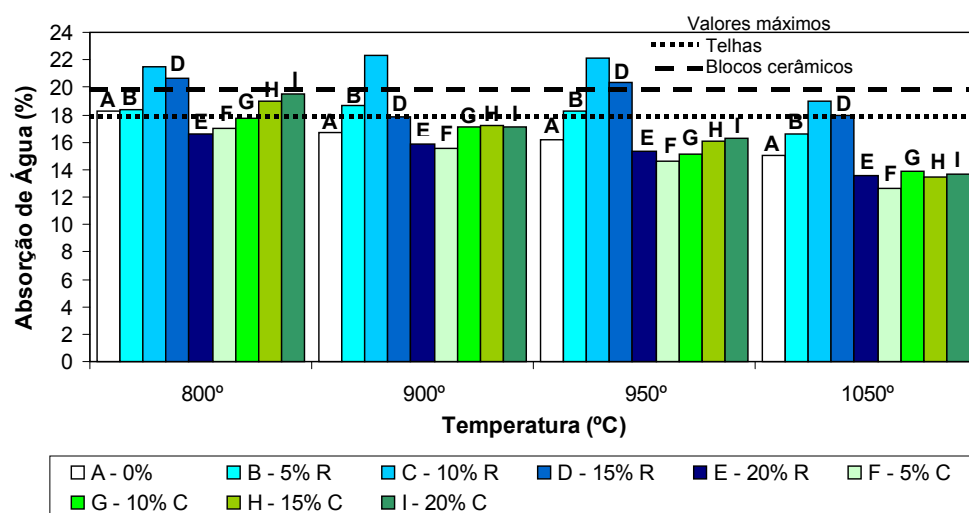


Figura 4.7– Absorção de água –VA06 geral

#### 4.8.3 Tensão de ruptura VA06 - (resíduo/cinza)

O uso do resíduo mostra valores acima do recomendado para tensão de ruptura, ocorrendo ganho significativo sob a temperatura de queima de 900°C e com adição de 20%, conforme esperado pela análise da absorção de água (Figura 4.8). Esse comportamento pode ser atribuído à presença de 38% de silte e de 25% de areia na constituição da amostra VA06 pura, sendo necessária uma adição maior de resíduo para alterar o seu comportamento.

Quando a cinza é adicionada, em função da presença de quartzo (Tabela 4.9) ocorre um ganho de tensão de ruptura, se comparado à amostra pura, com temperatura de queima nas taxas de 5% e 10%. Nas percentagens de 15 e 20%, é provável que aconteça uma saturação da adição, acarretando em porosidade aparente maior e resultando no enfraquecimento das peças.

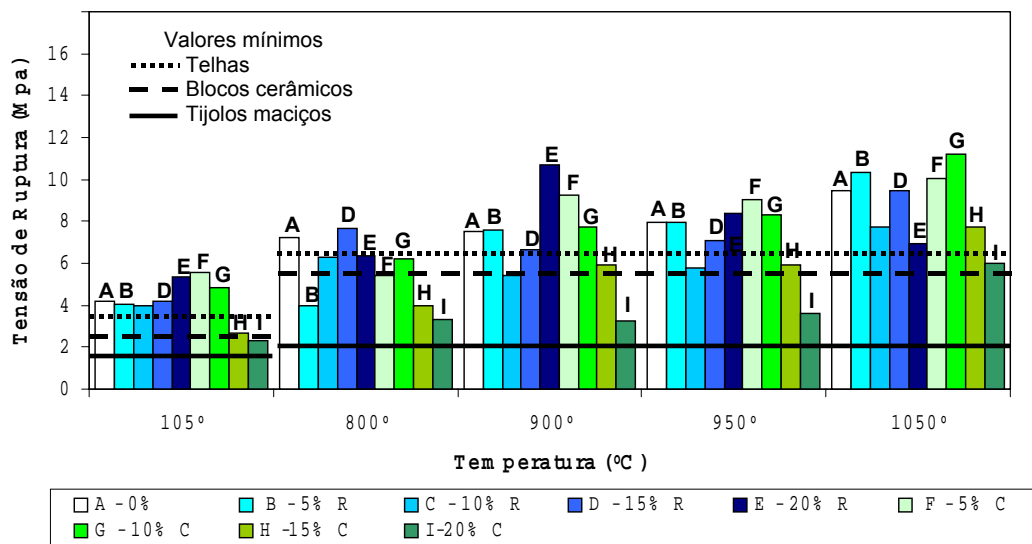


Figura 4.8– Tensão de ruptura – VA06 geral

## **5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **5.1 Introdução**

Esse capítulo apresenta as principais conclusões dessa pesquisa no que se refere às adições de resíduo e cinza à massa cerâmica para a fabricação de produtos cerâmicos.

### **5.2 Argilas puras**

#### **5.2.1 Ensaio de caracterização**

As três argilas oriundas de jazida de morro, pela sua composição mineralógica e granulométrica, apresentam alta plasticidade, tendo como consequência uma grande contração linear total. Assim, é necessária a adição de material arenoso à massa, a fim de evitar deformações e trincamentos excessivos nas peças a serem fabricadas.

#### **5.2.2 Ensaio cerâmico**

Amostra VA 01 – apresenta contração linear total de 15,2 a 17,4 %, tensão de ruptura entre 7,4 e 12,4 MPa e absorção de água de 10,4 a 16,1%.

Amostra VA 05 - apresenta contração linear total de 16,5 a 20,1 %, tensão de ruptura entre 9,9 e 14,2 MPa e absorção de água de 9,7 a 16,6%.

Amostra VA 06 - apresenta contração linear total de 13,1 a 14,4 %, tensão de ruptura entre 7,2 e 9,5 MPa e absorção de água de 15,1 a 18,3%.

- As três amostras de argilas estudadas estão dentro ou próximas de alguma região aceitável para a produção de cerâmica, conforme o digrama de Winkler;
- As amostras de argilas estudadas apresentam valores de contração linear total que devem ser reduzidos com a adição de material de granulometria mais grossa (argilas magras ou arenosas).

### **5.3 Adição de resíduos**

O resíduo 'in natura' – pó de fumo – pode ser classificado como perigoso, classe I da NBR 10.004 (inflamabilidade e toxicidade). A vantagem da adição do resíduo à massa cerâmica é caracterizada por dois aspectos: pela redução de sua concentração quando adicionado à massa cerâmica e pelo seu caráter inerte após a queima como integrante do produto cerâmico.

#### **5.3.1 Adições na argila VA 01**

##### **a) Pó de fumo**

- A contração linear total apresentou pequena redução para todas as taxas de adição;
- A absorção de água também apresentou pequena redução para temperaturas entre 900 e 950 °C, com exceção para a taxa de 10% que teve maior redução na absorção;
- As taxas de 5 e 10% apresentaram aumento de resistência à flexão dos corpos de prova;
- A indicação é de que a taxa de 10% de pó de fumo apresente melhores resultados para essa argila.

b) Cinza de pó de fumo

- Todas as taxas de adição apresentaram grandes reduções na contração linear total, e redução de absorção de água para a faixa de temperatura entre 900 e 950 °C, que é a indicada para a queima de produtos de cerâmica vermelha,
- A tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova apresentou crescimento com todas as taxas de adição para a faixa de temperatura entre 900 e 950 °C;
- A indicação é de que possam ser utilizadas taxas de até 10% de cinza de pó de fumo na mistura com essa argila.

### 5.3.2 Adições na argila VA 05

a) Pó de fumo

- A contração linear total apresentou uma considerável redução com o aumento da taxa de adição de pó de fumo;
- A absorção de água aumentou com a taxa de adição, sendo que para a faixa de temperatura entre 900 e 950 °C, somente na taxa de adição de 5% a absorção de água ficou abaixo de 18%;
- As tensões de ruptura a flexão dos corpos de prova com adição apresentaram pequena redução em relação àquelas para a argila pura;
- A indicação é de que a taxa de 5% de pó de fumo apresente melhores resultados para essa argila.

b) Cinza de pó de fumo

- A exemplo da VA01, todas as taxas de adição levaram a grandes reduções na contração linear total;
- A absorção de água reduziu com a adição de cinza;
- As tensões de ruptura apresentaram reduções para taxas crescentes de adição, mas para valores que ainda atendem às recomendações técnicas;
- A indicação é de uso de taxas de 5 a 10% de cinza de pó de fumo para a VA05.



### 5.3.3 Adições na argila VA 06

#### a) Pó de fumo

- A contração linear total reduziu consideravelmente com a taxa crescente de adição;
- A absorção de água cresceu com a taxa de adição de pó de fumo;
- A tensão de ruptura apresentou um comportamento estranho de redução de até 20% para a taxa de 10% de adição, e aumento de resistência para taxas acima de 10%;
- A indicação é de que seja feita produção experimental para a taxa de 15% de adição de pó de fumo, para essa argila.

#### b) Cinza de pó de fumo

- A contração linear total apresentou uma redução de até 40% para taxas crescentes de adição;
- A absorção de água apresentou redução para temperaturas acima de 900 °C.
- A tensão de ruptura diminuiu consideravelmente para taxas acima de 10%, para todas as temperaturas de queima;
- A indicação é de serem utilizadas taxas de 5 a 10% de cinza de pó de fumo, para essa argila.

## 5.4 Análise química

A análise química dos corpos de prova com percentagens de 10% e 15% de resíduo mostra que os valores de emissão de elementos por lixiviação estão abaixo dos níveis máximos recomendados pela NBR 10004. Como foram realizados ensaios em corpos de prova, é recomendada a produção experimental pela olaria, a fim de que sejam realizados novamente os ensaios com o produto cerâmico em escala normal.

## 5.4 Sugestões

Para a continuidade da pesquisa sugere-se:

- 1) realizar produções experimentais na olaria, utilizando-se as taxas de adições recomendadas na análise dessa pesquisa, e avaliar os produtos cerâmicos segundo as normas técnicas ABNT;
- 2) fazer a análise química dos gases emitidos durante a queima, na olaria, dos produtos cerâmicos fabricados com adições;
- 3) adotar equipamentos de proteção individual durante a etapa de manuseio e adição dos resíduos à massa cerâmica;
- 4) testar a adição de pó de fumo e de cinza úmidos, para reduzir/evitar a propagação de poeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Anuário Brasileiro de Cerâmica “ABCeram” 2004**. São Paulo : ABC, 2004. 128p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 11p.**

\_\_\_\_. **NBR7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

\_\_\_\_. **NBR6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 6p.

\_\_\_\_. **NBR7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.

\_\_\_\_. **NBR7183**: Solo: Determinação do limite e relação de contração. Rio de Janeiro, 1982. 3p.

\_\_\_\_. **NBR6508**: Solo: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p.

\_\_\_\_. **NBR6502**: Rochas e solos: Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

BRASIL. Ministério do Ambiente. Decreto-Lei nº 516/99 de 2 de Dezembro – Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais. **Diário da República** – 1 Série-A nº 280 – 2/12/1999. Disponível em: <[http://www.leiosafe.pt/eng/legislação/de\\_lei\\_516\\_99.pdf](http://www.leiosafe.pt/eng/legislação/de_lei_516_99.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto de Estudos da Religião (ISER). O que o brasileiro pensa do meio ambiente e do consumo sustentável – Pesquisa nacional de opinião – 200 entrevistas. Out. 2001. **Relatório para divulgação**. Disponível em: <[http://www.iser.org.br/portug/maio\\_ambiente\\_brasil.pdf](http://www.iser.org.br/portug/maio_ambiente_brasil.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2004.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – RS. **M-CIENTEC C-015**: Argilas: Amostragem preliminar para ensaios cerâmicos. Porto Alegre, 1995. 3p.

\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-016**: Argilas: Amostragem extensiva para fins cerâmicos. Porto Alegre, 1995. 2p.

\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-017**: Argilas: Preparação de corpos de prova por extrusão a vácuo. Porto Alegre, 1995. 3p.

\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-018**: Argilas: Preparação de corpos de prova por prensagem a seco. Porto Alegre, 1995. 2p.

\_\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-020**: Argilas: Determinação da umidade de conformação. Porto Alegre, 1995. 2p.

\_\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-021**: Materiais cerâmicos: Determinação da contração linear de secagem. Porto Alegre, 1995. 2p.

\_\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-022**: Materiais cerâmicos: Determinação de absorção de água após queima. Porto Alegre, 1995. 2p.

\_\_\_\_\_. **M-CIENTEC C-027**: Materiais cerâmicos: Determinação da tensão de ruptura a flexão após queima. Porto Alegre, 1995. 2p.

GARCIA H. de; NASCENTES, A. **Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa**: Caldas Aulete. 3. ed. v. 1. Rio de Janeiro: Delta, 1974.

GODINHO, K.O.; RALULO, T.R.; HOLANDA. J.N.F; SILVA A.G. P. Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. 1 CD-ROM.

GOMES, C. F. **Argilas o que são e para que servem**. Lisboa : Fundação Cal Gulbenkian, 1988. 457p.

GOULART, E. P. **Caracterização de matéria-prima** – parte II. Mini-curso sobre matérias-primas cerâmicas. Blumenau : ABC, 1994. 60p.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

HILDEBRANDO, E.A.; SOUZA, J.A.S.; NEVES, R.F. Aplicação do rejeito do processo Bayer (lama vermelha) como matéria-prima na indústria de cerâmica estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. 1 CD-ROM.

HÖRLLE, L.F. BASEGIO, T.M.; BERGMANN, C.P. Incorporação de resíduos de fundição em cerâmica de argila vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. 1 CD-ROM.

JÚNIOR, A.; SABOYA, J.R.; PEREIRA, M.J.R; SALLES, C. Utilização de sacarose de cana-de-açúcar em preparo de massas cerâmicas vermelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. 1 CD-ROM.

JOHN, V.M.; ÂNGULO, S.C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre : ANTAC, 2003. Cap. 2, p. 9-71

JORDÃO, M.A.P.; ZANDONADI, A.R. **Curso de matérias-primas – parte I**. Blumenau : ABC, 1994. 45 p.

KRAUSKOPF, K.B. **Introdução à geoquímica**. São Paulo : Polígono, 1972. v. I. 294p.

MELLO, R. M.; SANTOS, T.S.; SILVA D.C.; RODRIGUES, E.P. Utilização do resíduo proveniente do acabamento de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. 1 CD-ROM.

MERCADO DE RECICLÁVEIS. **Informativo Recicloteca nº 24** – março de 2003. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br>>. Acesso em: 01 jul. 2004.

MOTHÉ, C.G.; CÂMARA, A. Jr; MOTHÉ FILHO, H.F. Utilização do lodo residual do tratamento de água para a indústria da cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. 1 CD-ROM.

MÜLLER, L.E.; SOARES, J.M.D.; PINTO, C.A.M. et al. **Curso Básico de Cerâmica Vermelha Estrutural**. Santa Maria : UFSM, 1990. 135p.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, “**Dicionário de Munsell**”. Munsell color company, Maryland : Baltimore, 1954. 36p.

NEVES, G.A.; LIRA, H.L. Estudo do aproveitamento dos resíduos industriais resultantes do beneficiamento de caulim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. 1 CD-ROM.

OSHIMOTO, E.; THOMAZ, E. **Materiais cerâmicos para construção civil**. São Paulo : USP, 1990. 102p.

PRACIDELLI, S. **Cerâmica vermelha**. Escola SENAI A. A. Perena. 1989. 300p.

PRACIDELLI, S., MELCHIADES, F. G. **Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha**. Cerâmica Industrial, 02 (01/02), p.31-35, Janeiro/Abril, 1997.

PEREIRA, R.L.; PERATH, C.E.H.; PEREIRA, C.J.C.D. Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como material de infra-estrutura para pavimentação e agregado em misturas asfálticas. In: GEOSUL - SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 4., 2004. Curitiba. **Anais ...** Curitiba : UFP, 2004. p. 165-174.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção**. Porto Alegre : Globo, 1979. 435p.

PINHEIRO, J.R.B. **Notas de Aula: Estabilização de solos**. Santa Maria : UFSM, 2003. 128p.

PINHEIRO, J.R.B., SOARES J.M.D. **Notas de Aula: Mecânica solos**. Santa Maria : UFSM, 2002. 210p.

PRACIDELL, S. **Cerâmica vermelha**. Escola SENAI A. A. Perena. 1988. 300p.

QUINTANA, L.M.H. **Avaliação de matérias-primas e produtos cerâmicos da região de Bagé (RS)**. 2000. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

RAMIRES, M.V.V. Proposta de obtenção de materiais cerâmicos a partir de formulações de argila com um resíduo de usinas siderúrgicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44., 2000, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro, 2000. 1 CD-ROM.

ROCHA, J.C.; JOHN, V.M. Introdução. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre : ANTAC, 2003. Cap. 1, p. 5-7.

ROCHA, J.C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. In: \_\_\_\_\_. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. V.4. Porto Alegre : ANTAC. 2003. Cap. 3, p. 73-91.

ROLIM, A.M. A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul. 2000.131f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIPOLI, FILHO, F. **A utilização do rejeito industrial cerâmico – chamote – como fator de qualidade na fabricação de elementos cerâmicos**: um estudo experimental. 1996. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de argilas**. São Paulo : Edgard Blücher, 1989. v. 1. 408p.

SOARES, J.M.D.; PINHEIRO, R.J.B.; QUINTANA, L.M.H. Adição de resíduo de indústria fumageira na massa para produção de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 47., 2003, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa, 2003. p. 1035-1315. 1 CD-ROM.

SOARES, J.M.D.; TAVARES, I.S. Adição de resíduo de couro na massa para produção de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2001. p. 0402601-0402610. 1 CD-ROM.

SIMÕES, T.S.; LAPA, A.M.M.M.P.; SALGUEIRO, J.I.M.R.H.B.; QUEIRÓS, M.A.E.M.; BASTO, F.A.P. **Curso tecnológico de química e controle ambiental. Programa de ciências da vida e do meio ambiente, 11º ano**. Ministério da Educação,

Departamento do Ensino Secundário. Disponível em: <[http://www.ciencia-exp-no-cec.org/documentos/programa\\_cienciasvidaambiente11.pdf](http://www.ciencia-exp-no-cec.org/documentos/programa_cienciasvidaambiente11.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2004.

TAVARES, I.S. **Estudo de matérias-primas utilizadas na produção de cerâmica vermelha em Santa Maria – RS**. 2002. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

TOMAZETTI, R.R. **Análise de produção cerâmica vermelha da região central do estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TOFOLLI, M.S. **Materiais cerâmicos**. São Paulo : Poli USP, 1997. 43p.

VERÇOSA, E.J. **Materiais de Construção I**. Porto Alegre : Sagra, 1987. 153p.

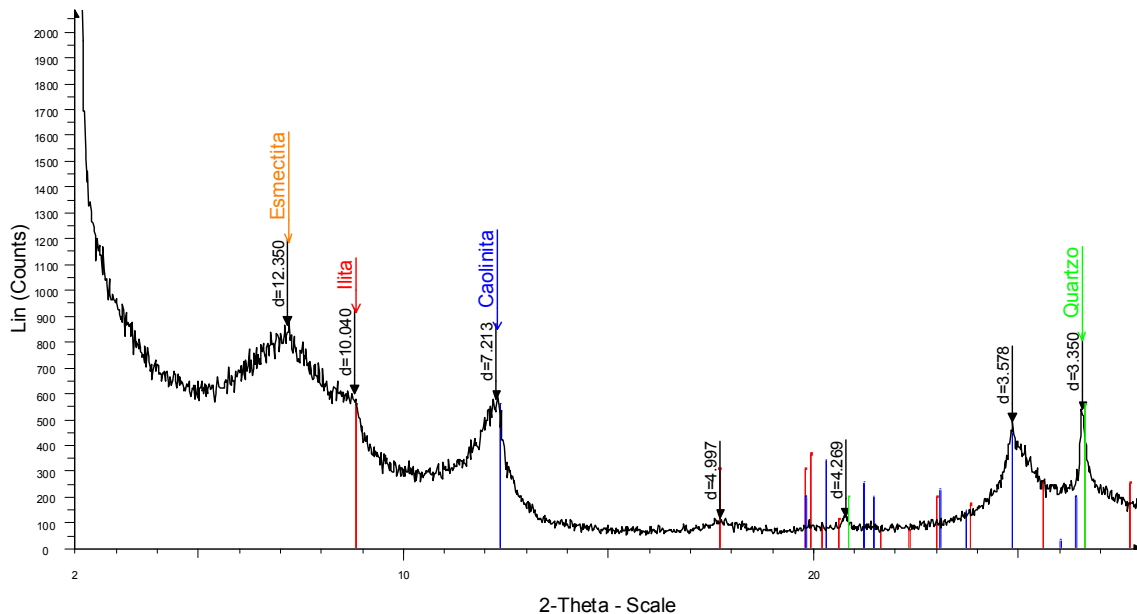
XAVIER, G.C.; JÚNIOR, F.S. JÚNIOR, M.P.S. Estudo da adição de resíduos da serragem do mármore à massa de conformação de cerâmica vermelha. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 45., 2001. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2001. 1 CD-ROM.

ZANDONADI, A.R.; OSHIMOTO, E. Cerâmica vermelha. **Curso internacional de treinamento em grupo em tecnologia cerâmica**. São Paulo: IPT/JICA, 1991. 20p.

ZAKOM, A.; FILHO, N.B.A; NASCIMENTO, L.C.A. Obtenção de materiais cerâmicos a partir da cinzas de inceneração de lixo aeroportuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44., 2000, São Pedro/SP. **Anais...** São Pedro, 2000. 1 CD-ROM

(<http://homepage.oninet.pt/171mcm/projecto.htm>).

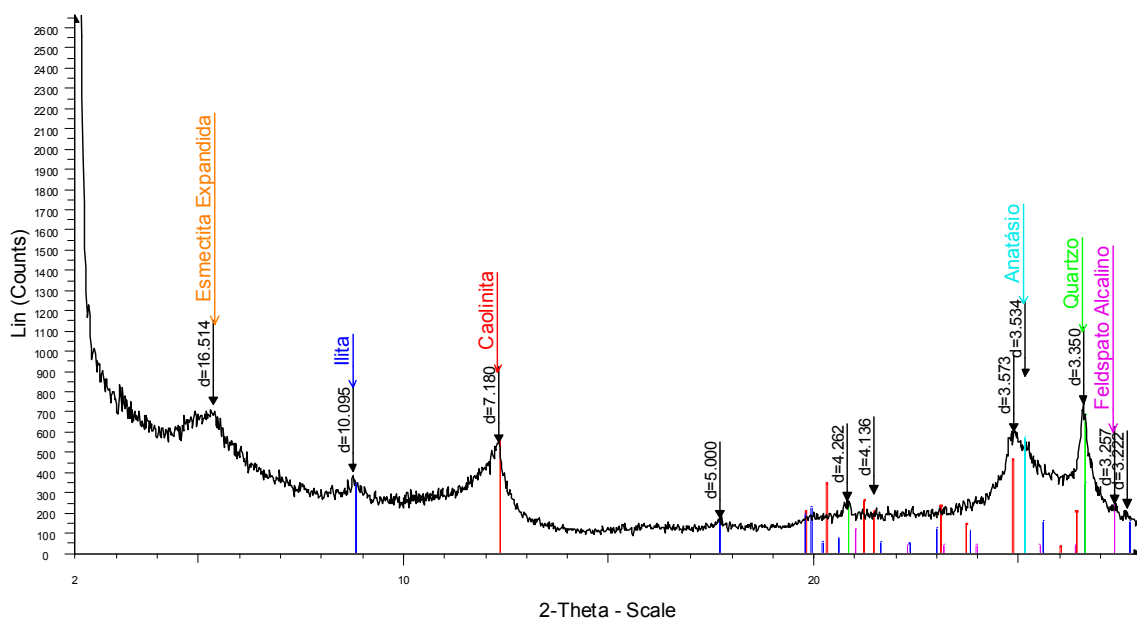
## APÊNDICE A – Difração de raios-x das amostra VA01, VA05 e VA06.



Diorges - File: NArgla01.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Phi: Operations: Import

7-0032 (D) - Muscovite2M1, syn - KA2SBAIO10(OH)2 - Y: 12.50 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Monoclinic - a 5.189 - b 8.995 - c 20.097 - alpha 90.000 - beta 95.18 - gamma 90.000 - Base-cen  
 4-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 12.50 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Triclinic - a 5.155 - b 8.959 - c 7.407 - alpha 91.68 - beta 104.9 - gamma 89.94 - Base-centred - C1 (0) - 2 - 33  
 5-0490 (D) - Quartz, low - SiO2 - Y: 12.50 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Hexagonal - a 4.913 - b 4.91300 - c 5.405 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 1

### Difratometria de raios-X da amostra VA01 analisada sob forma natural

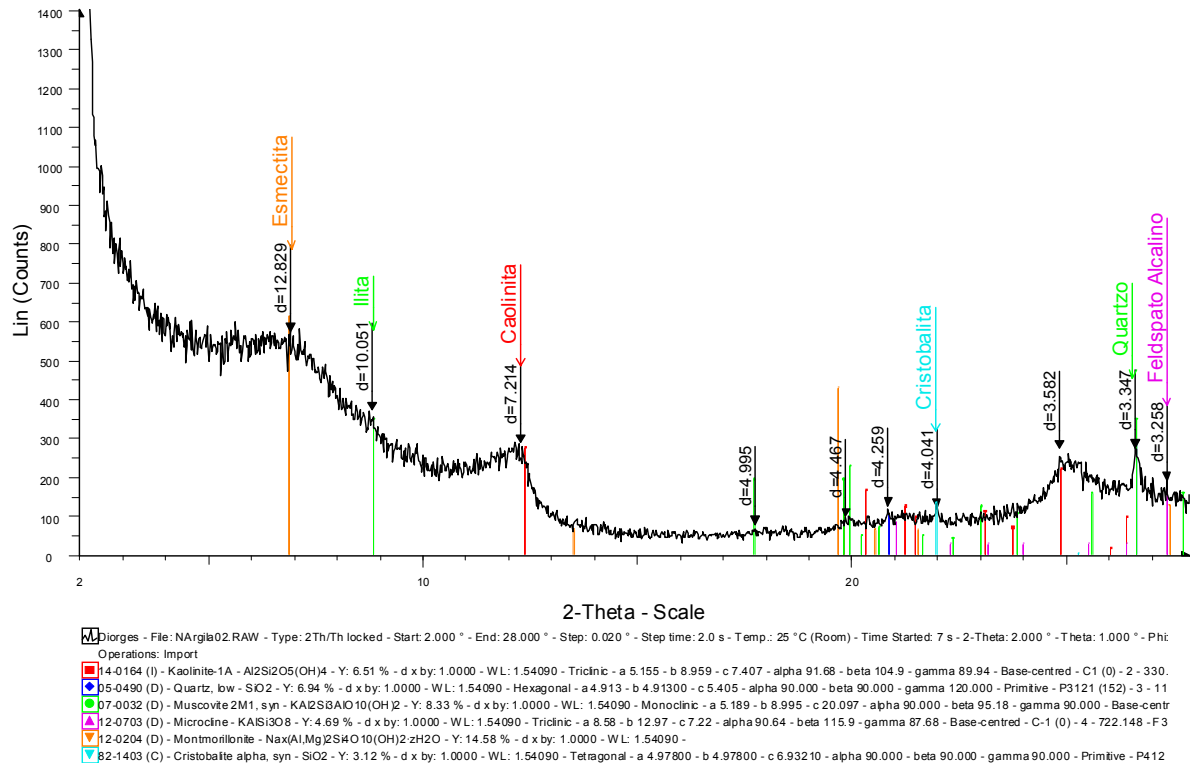
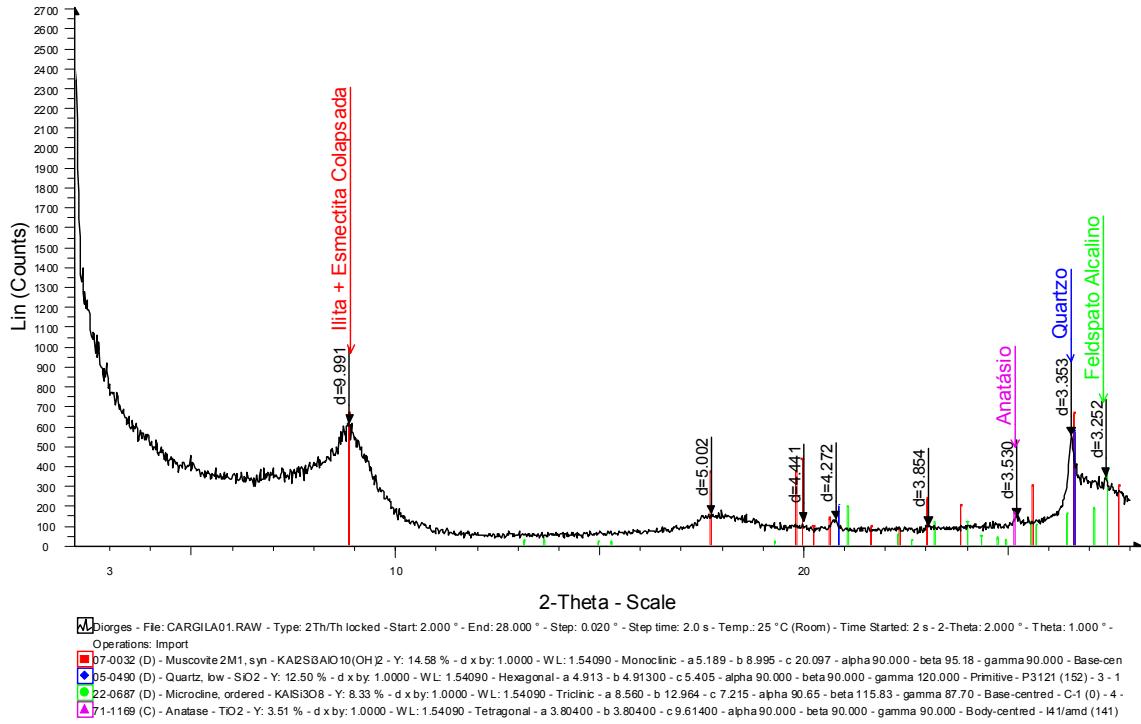


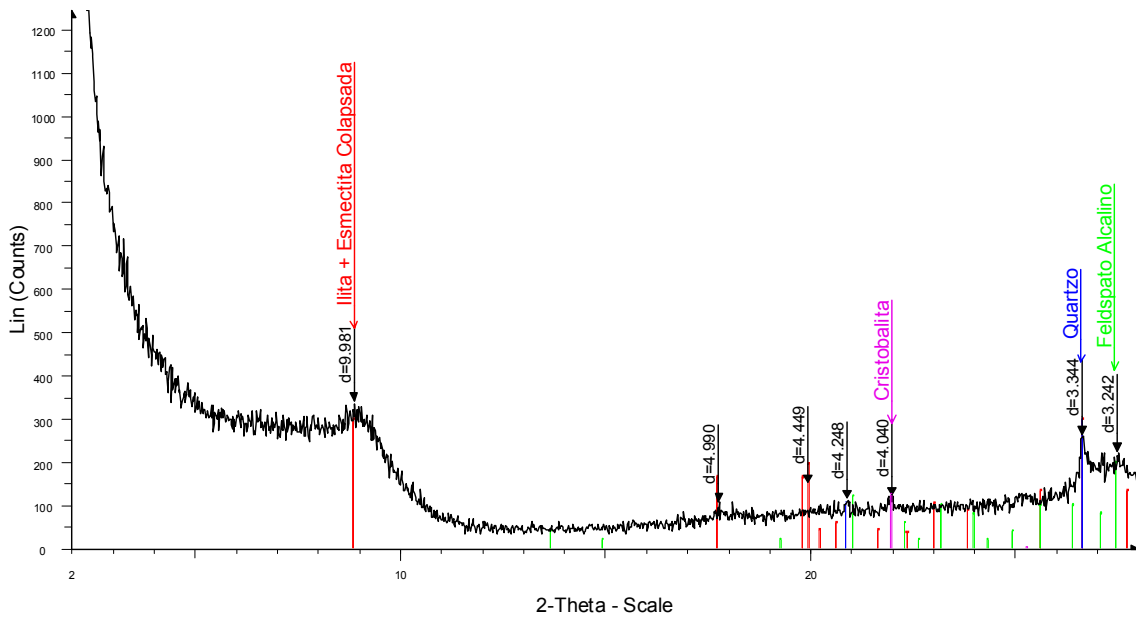
AndréGArgla01.RAW - File: GArgla01.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 10.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Phi: 71-1169 (C) - Anatase - TiO2 - Y: 10.42 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Tetragonal - a 3.804 Operations: Import

Diorges - File: GArgla01-R.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 10.000 ° - End: 28.000 ° - Step: Operations: Import  
 4-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 10.42 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Triclinic  
 7-0032 (D) - Muscovite2M1, syn - KA2SBAIO10(OH)2 - Y: 6.25 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54  
 5-0490 (D) - Quartz, low - SiO2 - Y: 12.50 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Hexagonal - a 4.9  
 12-0703 (D) - Microcline - KAISi3O8 - Y: 5.21 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Triclinic - a 8.58

### Difratometria de raios-X da amostra VA01 analisada com saturação em etilenoglicol

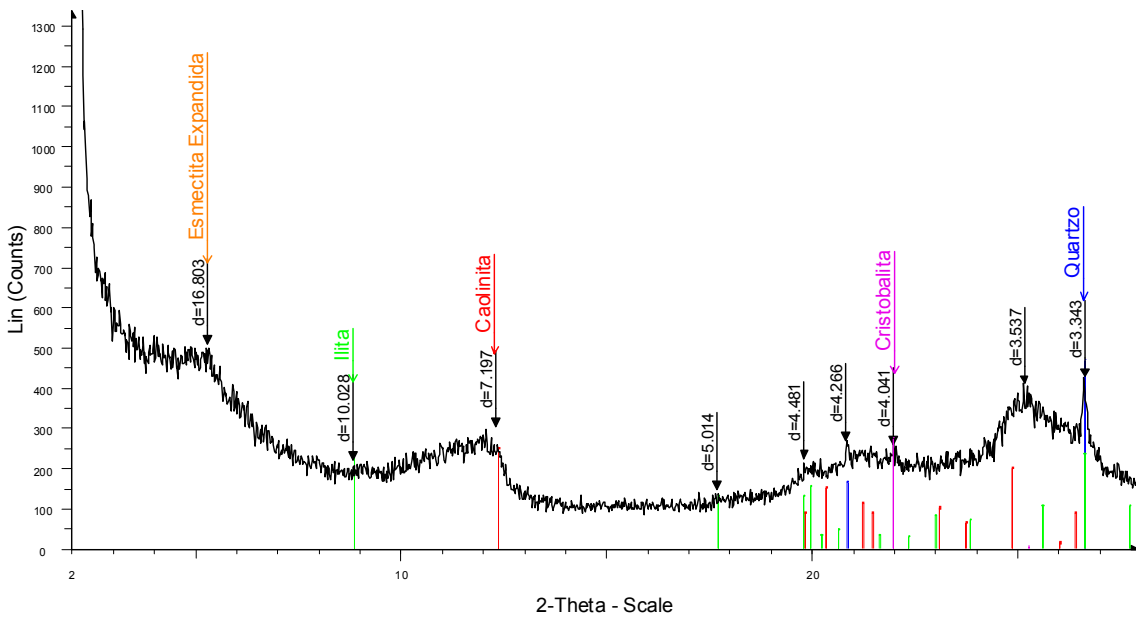






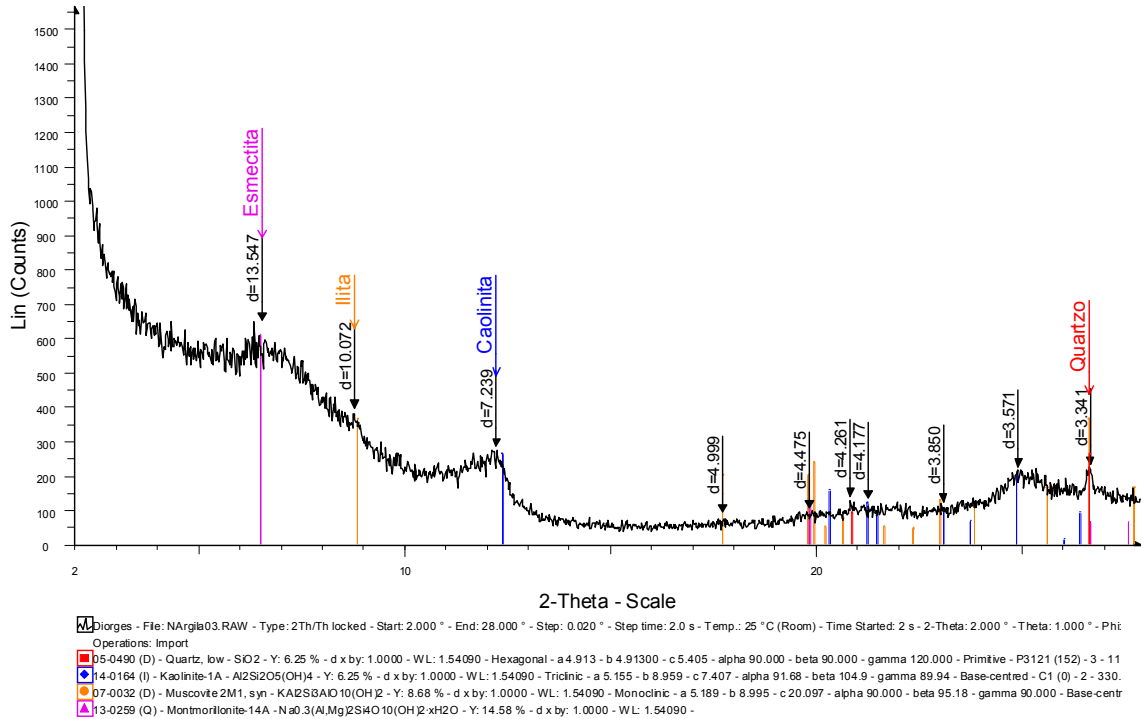
Diorges - File: CARGIA02.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Phi: 0.000 °  
 Operations: Import  
 [Red] 07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KA2S6AlO10(OH)2 - Y: 6.25 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Monoclinic - a 5.189 - b 8.995 - c 20.097 - alpha 90.000 - beta 95.18 - gamma 90.000 - Base-centr  
 [Blue] 05-0490 (D) - Quartz, lw - SiO2 - Y: 6.25 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Hexagonal - a 4.913 - b 4.91300 - c 5.405 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 11  
 [Green] 10-0479 (D) - Microcline, inter - KAIS3O8 - Y: 4.17 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Triclinic - a 8.58 - b 12.97 - c 7.22 - alpha 90.64 - beta 115.9 - gamma 87.68 - Primitive - P-1 (2) - 4 - 722.148 - F2  
 [Purple] 82-1403 (C) - Cristobalite alpha, syn - SiO2 - Y: 2.60 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Tetragonal - a 4.97800 - b 4.97800 - c 6.93210 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - P412

### Difratometria de raios-X da amostra VA05 analisada sob forma calcinada a 500 C

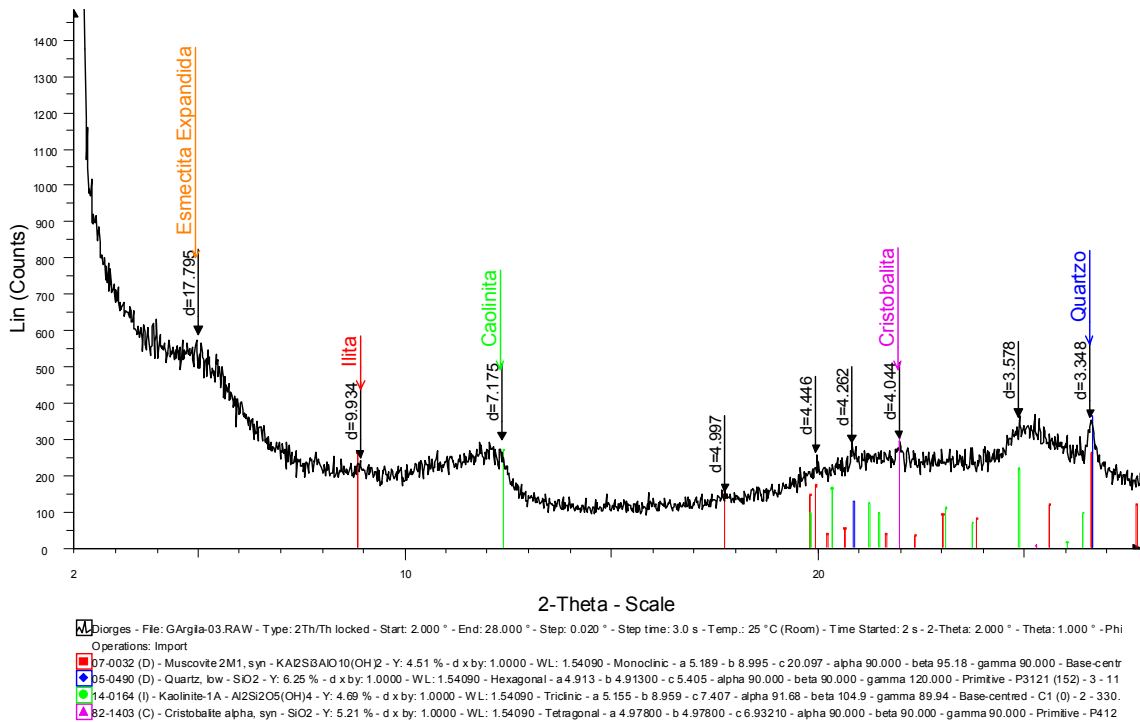


Diorges - File: GARGILA02.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 3.0 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Phi: 0.000 °  
 Operations: Import  
 [Red] 14-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 4.43 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Triclinic - a 5.155 - b 8.959 - c 7.407 - alpha 91.68 - beta 104.9 - gamma 89.94 - Base-centred - C1 (0) - 2 - 330.  
 [Blue] 05-0490 (D) - Quartz, lw - SiO2 - Y: 8.33 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Hexagonal - a 4.913 - b 4.91300 - c 5.405 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3121 (152) - 3 - 11  
 [Green] 07-0032 (D) - Muscovite 2M1, syn - KA2S6AlO10(OH)2 - Y: 4.17 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Monoclinic - a 5.189 - b 8.995 - c 20.097 - alpha 90.000 - beta 95.18 - gamma 90.000 - Base-centr  
 [Purple] 82-1403 (C) - Cristobalite alpha, syn - SiO2 - Y: 4.86 % - d x by: 1.0000 - WL: 1.54090 - Tetragonal - a 4.97800 - b 4.97800 - c 6.93210 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - P412

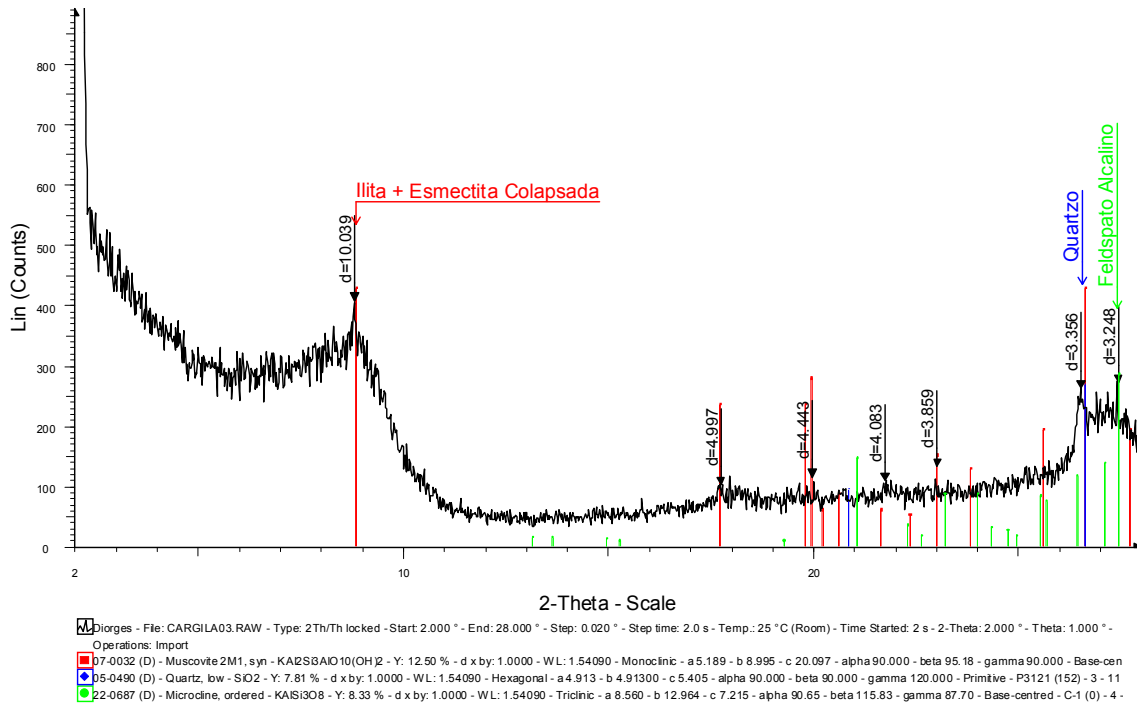
### Difratometria de raios-X da amostra VA05 analisada com saturação em etilenoglicol



### Difratometria de Raios-X da amostra VA06 analisada sob forma natural



### Difratometria de raios-X da amostra VA06 analisada com saturação em etilenoglicol



## Difratometria de raios-X da amostra VA06 analisada sob forma calcinada a 500 C

**APÊNDICE B** – Resultados dos ensaios cerâmicos sem adição e com adição de resíduo /cinza.

**Tabela 4.9 – Resultados dos ensaios cerâmicos – VA01 ‘in natura’ 0%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	14,50	4,4%	14,55	0,9%	14,42	3,9%	14,63	3,7%	14,52	2,6%
Cl <sub>q</sub>	-	-	1,11	4,2%	0,92	13,0%	1,02	4,3%	3,34	14,3%
Cl <sub>t</sub>	-	-	15,49	1,1%	15,21	3,7%	15,50	3,4%	17,38	4,1%
Tr	3,13	19,7%	7,42	25,8%	11,18	17,8%	12,35	20,8%	11,47	25,9%
Aa	-	-	15,37	4,1%	16,14	4,5%	14,92	4,0%	10,43	6,6%
Pa	-	-	28,89	3,5%	30,42	3,3%	28,26	3,3%	20,73	5,8%
Mea	-	-	1,88	0,7%	1,89	2,3%	1,89	2,7%	1,99	1,2%
Pf	-	-	5,03	3,1%	5,93	2,5%	5,90	1,6%	6,12	1,5%
Cor	2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro

**Tabela 4.10 – Resultados dos ensaios cerâmicos – VA01 ‘in natura’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	12,73	4,1%	12,72	5,7%	12,90	5,3%	12,68	6,0%	13,20	0,9%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,63	7,1%	1,15	5,8%	1,80	1,8%	4,14	5,1%
Cl <sub>t</sub>	-	-	13,26	5,4%	13,90	5,0%	14,26	5,4%	16,79	1,4%
Tr	4,48	27,6%	7,32	6,7%	10,13	21,9%	9,03	22,3%	10,59	11,8%
Aa	-	-	16,11	9,4%	14,67	2,1%	13,95	1,6%	11,12	3,3%
Pa	-	-	29,11	7,8%	27,32	2,0%	26,31	1,3%	22,23	2,8%
Mea	-	-	1,81	1,3%	1,86	0,3%	1,89	0,4%	2,00	0,6%
Pf	-	-	6,53	0,6%	7,48	2,1%	7,50	0,6%	7,70	1,7%
Cor	2.5YR5/6-V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro

**Tabela 4.11- Resultados dos ensaios cerâmicos – VA01 ‘in natura’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	12,43	6,2%	12,48	5,7%	12,06	5,0%	12,55	2,3%	12,61	2,8%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,46	6,8%	2,26	9,9%	1,79	8,5%	4,26	6,0%
Cl <sub>t</sub>	-	-	12,89	5,5%	14,05	5,2%	14,11	2,0%	16,33	1,7%
Tr	5,09	27,9%	12,53	7,2%	17,29	10,8%	17,48	7,8%	16,47	27,0%
Aa	-	-	13,38	2,9%	10,47	3,5%	11,27	4,1%	8,23	5,9%
Pa	-	-	24,53	5,2%	19,86	3,1%	22,44	2,9%	17,39	5,9%
Mea	-	-	1,83	4,2%	1,90	0,7%	1,99	2,8%	2,11	1,2%
Pf	-	-	7,62	2,1%	8,68	2,3%	8,65	1,7%	8,75	1,2%
Cor	2YR5/4-MAV		2YR5/6-V		2YR6/8-VC		2YR6/8-VC		2YR6/6-VC	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.12 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01 ‘in natura’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	12,63	3,8%	13,17	1,2%	12,57	3,4%	12,55	3,3%	12,88	3,3%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,09	0,2%	2,39	4,5%	2,02	5,1%	4,66	5,5%
Cl <sub>t</sub>	-	-	13,24	1,2%	14,66	3,0%	14,32	2,7%	16,94	3,6%
Tr	2,20	10,2%	4,17	13,1%	5,36	20,3%	5,15	25,3%	7,40	11,0%
Aa	-	-	16,49	4,9%	14,90	3,8%	14,61	7,3%	10,96	8,3%
Pa	-	-	29,05	5,0%	27,24	3,2%	26,59	7,0%	21,62	8,4%
Mea	-	-	1,76	2,4%	1,83	0,7%	1,82	0,7%	1,97	1,4%
Pf	-	-	7,28	7,8%	7,82	1,3%	7,93	4,9%	8,59	0,9%
Cor	10R5/3VAC		2YR6/6-VC		2YR6/8-VC		2YR6/8-VC		2YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro VAC= vermelhos acinzentado

**Tabela 4.13 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01 ‘in natura’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	12,33	1,1%	12,76	2,1%	12,89	1,5%	12,49	2,1%	12,73	3,8%
Cl <sub>q</sub>	-	-	1,97	4,9%	2,09	5,0%	1,76	5,3%	4,29	5,3%
Cl <sub>t</sub>	-	-	14,47	1,4%	14,71	1,0%	14,03	1,7%	16,47	4,0%
Tr	4,47	5,1%	14,00	7,3%	10,40	20,4%	10,51	16,5%	13,55	6,0%
Aa	-	-	15,67	5,7%	13,79	2,0%	14,26	2,7%	7,87	10,5%
Pa	-	-	27,28	5,3%	25,06	2,0%	26,73	2,9%	15,54	9,8%
Mea	-	-	1,74	1,0%	1,82	0,8%	1,87	2,8%	1,98	0,9%
Pf	-	-	8,13	2,0%	9,45	2,0%	9,39	0,7%	10,82	1,8%
Cor	10R5/3VAC		2YR6/6-VC		2YR6/8-VC		2YR6/8-VC		2YR5/6-V	

OBS: VAC= vermelho acinzentado V= vermelho VC= vermelho claro

**Tabela 4.14 - Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘in natura’ 0%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,84	8,6%	12,56	7,6%	11,40	6,4%	12,37	8,8%	12,59	6,3%
Cl <sub>q</sub>	-	-	4,55	9,0%	6,38	3,2%	6,41	7,7%	8,62	9,5%
Cl <sub>t</sub>	-	-	16,54	4,4%	17,05	4,0%	17,99	4,1%	20,13	3,3%
Tr	2,61	32,5%	9,86	33,5%	9,21	9,0%	14,15	27,3%	13,41	29,7%
Aa	-	-	16,58	9,9%	15,90	2,0%	14,83	10,2%	9,72	12,8%
Pa	-	-	30,74	8,7%	30,42	1,5%	28,29	8,2%	20,15	9,5%
Mea	-	-	1,86	2,6%	1,91	0,8%	1,91	2,0%	2,08	6,3%
Pf	-	-	5,96	5,2%	6,97	4,4%	7,20	2,4%	7,42	3,7%
Cor	2YR5/6-V		2YR5/6-V		2YR6/8-VC		2YR6/6-VC		2YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro

**Tabela 4.15 - Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘in natura’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	13,04	4,6%	12,75	1,8%	13,07	1,4%	12,67	7,5%	13,26	3,5%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,61	9,4%	1,40	11,1%	1,54	2,7%	4,79	4,1%
Cl <sub>t</sub>	-	-	13,29	1,9%	14,29	1,8%	14,01	6,8%	17,42	2,6%
Tr	4,15	29,2%	10,50	4,8%	9,41	12,3%	9,02	19,0%	11,48	5,1%
Aa	-	-	16,48	4,1%	16,55	1,4%	15,90	1,1%	11,99	2,9%
Pa	-	-	30,32	3,5%	30,83	1,1%	29,92	1,0%	24,31	2,9%
Mea	-	-	1,84	2,4%	1,86	0,5%	1,88	0,3%	2,03	1,7%
Pf	-	-	7,75	1,5%	8,23	2,6%	8,44	0,9%	8,77	1,4%
Cor	10YR5/3-M		5YR5/6-VAM		2YR5/6-V		2YR6/6-VC		2YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro M= marrom VAM= vermelho amarelado

**Tabela 4.16 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘in natura’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,16	2,1%	11,15	4,9%	10,61	2,2%	10,69	4,4%	11,04	5,7%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,55	6,5%	1,83	7,5%	1,58	9,8%	4,36	7,5%
Cl <sub>t</sub>	-	-	11,64	4,8%	12,24	2,7%	12,10	4,3%	14,92	5,0%
Tr	4,45	3,7%	7,22	2,9%	8,15	3,9%	8,13	9,6%	11,44	6,0%
Aa	-	-	20,03	2,1%	19,87	3,1%	18,86	12,6%	13,00	6,6%
Pa	-	-	35,97	2,2%	35,14	2,4%	33,89	9,8%	24,85	5,8%
Mea	-	-	1,80	1,3%	1,77	0,9%	1,80	4,3%	1,91	0,9%
Pf	-	-	6,77	7,2%	7,44	6,7%	7,58	1,1%	7,71	1,9%
Cor	7.5YR5/4-M		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR5/4-MAV	

OBS: VC= vermelho claro M= marrom MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.17 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘in natura’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	10,92	2,4%	10,97	2,9%	10,66	2,6%	11,02	3,5%	11,50	4,6%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,79	9,0%	1,78	8,0%	1,52	7,7%	3,85	9,1%
Cl <sub>t</sub>	-	-	11,67	3,0%	12,25	2,0%	12,37	3,5%	14,91	3,0%
Tr	4,22	4,8%	7,77	1,7%	8,64	6,9%	9,48	5,7%	10,56	6,5%
Aa	-	-	20,43	5,7%	18,97	2,5%	18,03	2,9%	15,02	3,1%
Pa	-	-	35,35	4,2%	33,38	1,8%	31,90	3,0%	29,65	11,3%
Mea	-	-	1,73	2,0%	1,76	0,9%	1,77	0,8%	1,97	11,0%
Pf	-	-	7,39	2,0%	8,03	0,7%	8,01	3,9%	8,93	1,7%
Cor	10YR 5/4-MAM		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAM= marrom amarelado MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.18 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘in natura’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,13	2,7%	11,67	1,9%	10,95	2,1%	10,93	4,2%	11,11	6,2%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,58	7,8%	2,13	8,7%	1,25	10,6%	4,02	10,9%
Cl <sub>t</sub>	-	-	12,18	1,7%	12,84	2,5%	12,05	4,3%	14,68	4,1%
Tr	4,84	4,1%	7,75	4,5%	8,05	2,9%	8,03	7,4%	10,50	5,6%
Aa	-	-	21,55	5,1%	16,42	3,7%	20,70	3,2%	19,53	6,6%
Pa	-	-	17,72	4,1%	31,63	13,8%	34,93	13,6%	34,85	4,6%
Mea	-	-	0,82	0,9%	1,93	14,7%	1,69	12,3%	1,79	2,0%
Pf	-	-	7,45	0,6%	8,27	1,4%	8,14	1,6%	8,35	8,3%
Cor	10YR 6/2-CAC		2.5YR5/6-V		2YR6/6-VC		2YR6/6-VC		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro CAC= cinza amarronzado claro MAV= marrom avermelhado



**Tabela 4.19 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘in natura’ 0%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	10,80	5,2%	12,73	8,0%	12,61	9,2%	12,16	6,8%	12,78	4,9%
Cl <sub>q</sub>	-	-	1,42	13,3%	1,24	6,9%	1,05	11,5%	1,88	4,3%
Cl <sub>t</sub>	-	-	13,97	6,8%	13,70	8,5%	13,08	6,4%	14,43	4,0%
Tr	4,21	5,0%	7,20	2,9%	7,54	2,9%	7,92	4,8%	9,48	4,9%
Aa	-	-	18,29	2,3%	16,68	2,2%	16,15	7,1%	14,99	1,7%
Pa	-	-	32,55	1,8%	30,02	2,2%	28,75	5,8%	27,34	1,5%
Mea	-	-	1,78	0,8%	1,80	0,3%	1,78	1,8%	1,82	0,6%
Pf	-	-	4,85	12,0%	5,82	13,3%	6,27	1,9%	6,35	1,2%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6- V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6- V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro M= marrom

**Tabela 4.20 Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘in natura’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,58	3,6%	11,32	2,6%	11,36	3,3%	10,45	4,2%	11,46	1,2%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,70	10,5%	1,10	12,3%	0,92	13,2%	2,67	10,7%
Cl <sub>t</sub>	-	-	11,94	2,7%	12,34	3,8%	11,28	3,7%	13,82	2,7%
Tr	4,08	7,0%	7,01	4,6%	7,61	12,8%	7,97	8,5%	10,32	8,3%
Aa	-	-	18,33	12,4%	18,72	1,3%	18,25	4,1%	16,54	3,3%
Pa	-	-	32,88	9,6%	33,50	1,4%	32,27	3,6%	30,14	2,7%
Mea	-	-	1,80	4,2%	1,79	0,3%	1,77	0,7%	1,82	0,7%
Pf	-	-	5,14	1,6%	5,76	2,1%	5,81	2,1%	6,01	1,4%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6- V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6- V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro M= marrom

**Tabela 4.21 Resultados dos ensaios cerâmicos –VA6 ‘in natura’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,07	3,7%	11,06	1,7%	10,91	2,0%	11,27	2,2%	11,29	2,9%
Cl <sub>q</sub>	-	-	1,88	10,8%	1,54	10,3%	1,10	11,7%	3,12	2,9%
Cl <sub>t</sub>	-	-	12,73	1,2%	12,28	1,4%	12,25	2,6%	14,06	2,8%
Tr	4,01	3,5%	6,30	9,7%	5,44	10,1%	5,80	2,6%	7,74	8,9%
Aa	-	-	21,46	2,5%	22,31	1,8%	22,10	3,7%	19,03	3,1%
Pa	-	-	36,11	2,3%	37,28	1,1%	37,14	4,1%	34,21	2,8%
Mea	-	-	1,68	0,5%	1,67	0,9%	1,68	1,4%	1,80	1,0%
Pf	-	-	6,54	0,7%	7,51	1,8%	6,73	1,8%	7,64	5,2%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6- V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6- V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro M= marrom

**Tabela 4.22 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘in natura’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	11,09	3,1%	11,29	2,1%	10,72	1,5%	10,49	5,0%	10,48	1,8%
Cl <sub>q</sub>	-	-	1,90	12,8%	1,16	13,1%	0,84	12,3%	3,00	12,7%
Cl <sub>t</sub>	-	-	12,98	0,8%	11,75	1,4%	11,24	4,1%	13,16	3,4%
Tr	4,19	6,2%	7,64	7,9%	6,62	8,3%	7,05	2,6%	9,50	4,6%
Aa	-	-	20,69	1,9%	15,39	46,3%	20,35	2,6%	19,44	26,8%
Pa	-	-	35,16	1,4%	26,94	42,4%	33,96	11,7%	34,39	20,0%
Mea	-	-	1,70	0,8%	1,80	6,0%	1,67	11,5%	1,79	4,0%
Pf	-	-	6,87	1,1%	7,48	1,9%	7,64	1,9%	7,73	1,8%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6- V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6- V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro M= marrom

**Tabela 4.23 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘in natura’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	7,50	1,9%	7,63	1,6%	7,63	1,4	7,57	0,8	7,68	2,5
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,49	23,5%	1,08	11,8%	1,45	9,0%	2,44	18,2%
Cl <sub>t</sub>	-	-	8,09	2,6%	8,63	0,9%	8,92	1,1%	9,93	2,9%
Tr	5,37	21,4%	6,38	9,4%	10,69	16,0%	8,41	25,9%	6,95	57,0%
Aa	-	-	16,63	1,9%	15,87	0,9%	15,34	1,1%	13,59	5,6%
Pa	-	-	30,30	1,9%	29,06	0,9%	28,25	1,0%	25,45	2,4%
Mea	-	-	1,82	0,1%	1,83	0,2%	1,84	0,3%	1,87	2,9%
Pf	-	-	7,10	0,6%	7,71	0,5%	8,11	5,7%	7,84	1,0%
Cor	10YR5/3-CAC									

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro CAC= cinza amarronzado claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.24 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01 ‘pó queimado’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	9,00	2,8%	9,47	3,4%	9,17	1,9%	9,12	1,7%	9,18	2,1%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,03	22,3%	1,13	14,1%	1,97	5,8%	3,78	4,3%
Cl <sub>t</sub>	-	-	9,49	3,4%	10,20	1,9%	10,91	1,6%	12,61	1,8%
Tr	4,53	11,6%	3,37	11,0%	13,94	10,5%	14,93	8,0%	16,08	0,7%
Aa	-	-	14,57	0,9%	12,25	1,4%	10,55	9,7%	7,97	1,7%
Pa	-	-	27,32	0,7%	23,47	1,0%	2059	8,8%	16,27	1,6%
Mea	-	-	1,88	0,2%	1,92	0,7%	1,95	1,2%	2,04	0,2%
Pf	-	-	5,67	1,7%	7,01	6,7%	7,17	2,7%	6,83	2,5%
Cor	2.5YR5/4MAV		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.25 - Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01 ‘pó queimado’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	7,84	1,3%	7,97	1,2%	8,14	1,9%	8,08	1,9%	8,26	5,2%
Cl <sub>q</sub>			-0,19	-37%	1,60	10,0%	2,81	6,4%	4,58	4,2%
Cl <sub>t</sub>			7,79	1,4%	9,60	2,4%	10,66	1,5%	12,46	2,6%
Tr	7,05	10,8%	3,50	5,1%	15,73	5,5%	15,10	9,7%	15,97	15,0%
Aa			14,54	23,0%	12,06	1,3%	9,67	1,3%	7,18	2,4%
Pa			27,06	22,1%	23,28	1,2%	19,05	1,0%	14,95	2,4%
Mea			1,87	3,2%	1,92	0,2%	1,97	0,4%	2,08	0,2%
Pf			6,53	2,7%	7,23	6,8%	7,05	3,1%	6,92	3,0%
Cor	2.5YR5/4MAV		2.5YR5/6-V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.26 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01‘pó queimado’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	8,02	2,0%	8,12	1,6%	8,01	1,0%	7,95	2,4%	7,93	1,7%
Cl <sub>q</sub>			0,08	9,1%	1,99	9,4%	3,32	5,4%	5,40	4,7%
Cl <sub>t</sub>			8,19	1,6%	9,84	1,8%	11,01	2,6%	12,90	1,6%
Tr	5,29	19,5%	2,60	9,4%	15,32	6,1%	14,82	5,1%	17,64	4,2%
Aa			16,20	5,2%	11,71	2,2%	9,62	3,4%	6,81	4,2%
Pa			29,56	3,8%	22,46	1,8%	18,85	3,6%	14,20	3,7%
Mea			1,83	1,5%	1,92	0,4%	1,96	1,1%	2,09	0,5%
Pf			5,91	3,4%	6,48	1,4%	7,36	5,8%	7,35	4,5%
Cor	2.5YR5/4MAV		2.5YR5/6-V		2.5YR6/6-VC		2.5YR6/6-VC		2.5YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.27 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA01‘pó queimado’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	7,72	1,1%	7,72	1,4%	7,56	1,4%	7,51	2,2%	7,49	1,5%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,13	21,8%	2,57	7,3%	3,87	5,6%	5,68	1,9%
Cl <sub>t</sub>	-	-	7,84	1,5%	9,93	1,8%	11,9	1,5%	12,74	0,9%
Tr	4,45	9,9%	1,84	14,7%	13,87	2,5%	12,96	7,6%	15,23	4,9%
Aa	-	-	17,81	1,2%	12,79	1,5%	10,42	1,7%	7,27	4,1%
Pa	-	-	37,82	1,1%	24,32	1,2%	20,33	2,0%	15,07	3,7%
Mea	-	-	1,79	0,2%	1,90	0,3%	1,95	0,6%	2,07	0,5%
Pf	-	-	5,75	1,6%	6,37	0,5%	6,73	2,0%	6,84	1,6%
Cor	2.5YR5/4MAV		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR6/8-VC		2.5YR5/6-V	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado

**Tabela 4.28 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘pó queimado’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,90	3,6%	6,90	3,0%	7,17	2,6%	6,94	1,8%	6,91	2,7%
Cl <sub>q</sub>			0,49	41,6%	1,37	10,3%	2,45	6,1%	4,25	5,6%
Cl <sub>t</sub>			7,36	2,7%	8,44	3,3%	9,23	1,6%	10,86	2,8%
Tr	5,49	22,1%	6,73	10,0%	9,80	4,3%	9,57	7,2%	11,35	13,5%
Aa			15,52	0,8%	14,35	12,1%	13,65	2,5%	11,12	1,9%
Pa			29,09	0,7%	27,88	17,6%	26,27	2,4%	22,38	3,7%
Mea			1,87	0,2%	1,94	0,3%	1,92	0,2%	2,01	3,0%
Pf			6,95	8,2%	7,62	1,7%	7,74	2,9%	7,06	2,9%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAV= marrom avermelhado M= marrom

**Tabela 4.29 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘pó queimado’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,22	3,0%	6,19	3,6%	6,27	2,6%	6,27	1,9%	6,35	1,0%
Cl <sub>q</sub>			0,60	20,5%	1,95	26,0%	2,85	3,6%	4,71	3,5%
Cl <sub>t</sub>			6,75	2,3%	8,10	6,6%	8,95	1,6%	10,77	1,8%
Tr	5,11	14,8%	6,56	7,8%	8,91	3,7%	9,16	6,7%	10,13	9,0%
Aa			16,92	0,6%	15,29	1,1%	14,05	1,0%	12,01	6,0%
Pa			31,12	0,6%	28,74	1,6%	26,76	0,9%	23,58	4,5%
Mea			1,84	0,1%	1,88	0,0%	1,97	0,2%	1,97	1,3%
Pf			6,05	6,0%	6,97	0,6%	7,10	1,4%	7,25	3,9%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAV= marrom avermelhado M= marrom

**Tabela 4.30 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘pó queimado’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,81	2,6%	6,79	2,3%	6,87	2,6%	7,02	1,9%	7,15	1,6%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,58	24,0%	2,54	10,4%	3,41	3,2%	5,17	8,3%
Cl <sub>t</sub>	-	-	7,33	1,6%	9,24	2,4%	10,19	1,3%	11,95	2,8%
Tr	3,32	22,2%	6,18	14,1%	7,77	6,1%	8,28	4,9%	11,21	6,6%
Aa	-	-	18,06	0,8%	15,28	2,5%	13,53	0,4%	10,71	2,5%
Pa	-	-	32,81	0,7%	28,53	2,5%	25,66	0,4%	21,2	1,9%
Mea	-	-	1,82	0,2%	1,87	0,2%	1,9	0,1%	1,98	0,8%
Pf	-	-	6,40	0,6%	6,75	0,6%	6,94	1,1%	6,86	1,7%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAV= marrom avermelhado M= marrom

**Tabela 4.31 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA05 ‘pó queimado’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,24	1,4%	6,28	2,6%	6,23	0,9%	6,21	1,7%	6,31	1,7%
Cl <sub>q</sub>			0,64	22,0%	3,18	5,3%	4,27	2,0%	5,92	6,0%
Cl <sub>t</sub>			6,88	1,4%	9,21	1,3%	10,21	1,5%	11,85	2,6%
Tr	3,63	12,4%	5,85	9,2%	7,47	6,9%	7,65	3,0%	10,35	7,7%
Aa			18,09	0,7%	15,74	2,0%	14,11	0,8%	11,08	4,2%
Pa			32,48	0,5%	29,19	1,7%	26,66	0,7%	21,94	3,5%
Mea			1,80	0,2%	1,85	0,3%	1,89	0,2%	1,98	0,8%
Pf			6,20	1,6%	7,32	3,4%	7,63	1,2%	7,37	3,1%
Cor	10YR5/3-M		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAV= marrom avermelhado M= marrom

**Tabela 4.32 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘pó queimado’ 5%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,26	2,1%	6,17	2,2%	6,27	1,6%	6,37	1,1%	6,67	2,3%
Cl <sub>q</sub>	-	-	0,56	29,6%	1,69	13,0%	2,25	6,1%	3,82	10,1%
Cl <sub>t</sub>	-	-	6,69	1,4%	7,86	1,8%	8,47	1,4%	10,24	3,5%
Tr	5,59	11,3%	5,44	16,0%	9,22	4,8%	9,03	11,8%	10,05	6,4%
Aa	-	-	16,98	0,9%	15,52	1,6%	14,59	2,9%	12,61	3,6%
Pa	-	-	31,65	0,6%	29,46	1,2%	28,05	2,0%	24,94	3,1%
Mea	-	-	1,86	0,3%	1,90	0,5%	1,92	1,7%	1,98	0,6%
Pf	-	-	5,75	0,4%	6,43	1,3%	6,86	1,1%	6,51	0,6%
Cor	10YR6/2-CAC		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho MAV= marrom avermelhado CAC = cinza amarronzado claro

**Tabela 4.33 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘pó queimado’ 10%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	5,99	1,7%	6,20	3,3%	6,07	4,1%	6,13	4,1%	6,19	1,9%
Cl <sub>q</sub>			0,40	48,8%	1,59	11,9%	2,16	20,9%	3,97	10,5%
Cl <sub>t</sub>			6,57	1,3%	7,57	2,0%	8,15	4,5%	9,91	3,0%
Tr	4,84	6,9%	5,87	7,6%	8,28	6,4%	8,57	5,2%	8,79	8,5%
Aa			17,74	0,4%	17,07	4,4%	15,14	7,0%	13,88	6,9%
Pa			32,78	2,8%	31,53	3,7%	28,52	5,6%	26,71	5,4%
Mea			1,85	2,6%	1,85	0,7%	1,89	1,5%	1,93	1,4%
Pf			6,08	0,91%	6,53	1,8%	6,61	0,9%	6,34	0,6%
Cor	10YR6/2-CAC		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-VC		2.5YR5/6-VC		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado CAC = cinza amarronzado claro

**Tabela 4.34 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘pó queimado’ 15%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,53	1,8%	6,54	2,4%	6,46	1,7%	6,21	5,2%	5,87	2,8%
Cl <sub>q</sub>			0,52	32,2%	2,20	9,6%	2,67	9,9%	4,74	6,8%
Cl <sub>t</sub>			7,02	1,7%	8,52	2,0%	8,72	4,9%	10,33	3,8%
Tr	2,64	12,2%	3,96	11,4%	5,92	12,7%	5,96	14,6%	7,70	9,5%
Aa			18,96	1,0%	17,25	0,7%	16,10	1,6%	13,42	2,4%
Pa			33,70	3,6%	31,55	1,2%	30,01	1,5%	26,00	1,9%
Mea			1,78	3,5%	1,83	0,9%	1,86	0,2%	1,94	0,5%
Pf			5,75	1,1%	6,42	0,3%	6,58	4,0%	6,75	2,0%
Cor	10YR6/2-CAC		2.5YR5/6-V		2.5YR5/6-VC		2.5YR5/6-VC		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado CAC = cinza amarronzado claro

**Tabela 4.35 – Resultados dos ensaios cerâmicos –VA06 ‘pó queimado’ 20%**

T (°C)	105°C		800°C		900°C		950°C		1050°C	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
Cl <sub>s</sub>	6,09	1,8%	6,04	2,8%	6,22	5,9%	6,07	1,0%	6,04	1,8%
Cl <sub>q</sub>			0,39	38,3%	2,34	20,8%	3,00	5,5%	4,74	4,0%
Cl <sub>t</sub>			6,41	1,9%	8,42	2,1%	8,89	1,5%	10,49	1,6%
Tr	2,28	18,8%	3,33	29,1%	3,28	47,5%	3,63	15,0%	6,00	8,4%
Aa			19,56	1,0%	17,11	0,7%	16,26	1,1%	13,69	2,5%
Pa			35,08	0,9%	31,60	0,6%	30,31	1,0%	26,46	2,0%
Mea			1,79	0,2%	1,85	0,2%	1,86	0,2%	1,93	0,6%
Pf			5,87	0,4%	6,04	18,6%	6,75	1,1%	6,65	0,8%
Cor	10YR6/2-CAC		2.5YR5/6-V		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV		2.5YR5/4-MAV	

OBS: V= vermelho VC= vermelho claro MAV= marrom avermelhado CAC = cinza amarronzado claro