

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Rita dos Santos Sousa

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA
PRODUÇÃO PARA OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Santa Maria, RS
2019

Rita dos Santos Sousa

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO PARA
OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili

Santa Maria, RS
2019

Este trabalho utilizou bolsa de estudos concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e foi apoiado com recursos financeiros da Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC).

Sousa, Rita dos Santos
Metodologia de planejamento e controle da produção
para obras de Engenharia Natural / Rita dos Santos
Sousa.- 2019.
218 p.; 30 cm

Orientador: Fabrício Jaques Sutili
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

1. Desempenho da produção 2. Indicadores de desempenho
3. Lean construction 4. Gestão da produção 5. Recuperação
de áreas degradadas I. Sutili, Fabrício Jaques II. Título.

Rita dos Santos Sousa

**METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO PARA
OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia Florestal**

Aprovado em 18 de fevereiro de 2019:



Prof. Dr. Fabrício Jaques Sutili (Presidente/Orientador)



Prof.ª Dr.ª Catize Brandelero (UFSM)



Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro (UFSM)



Prof.ª Dr.ª Isabel A. J. Ramos (Universidade de Évora, Portugal)



Dr. Sandro Vaccaro (Ceran)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), do Centro de Ciências Rurais, por me conferir o suporte necessário para realizar o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante os anos dedicados à realização desta tese, bem como à Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC), pelo apoio financeiro que permitiu a dedicação exclusiva ao desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Ao Professor Fabrício Sutili pela oportunidade de realizar este doutorado, pelos ensinamentos e amizade em todos os momentos.

À equipe da Engie Brasil, especialmente ao Cid Ionceck pelas oportunidades criadas no desenvolvimento desta tese, mas principalmente pela amizade e por estar sempre disponível para longas conversas sobre a Engenharia Natural, mas também sobre a vida em geral e perspectivas futuras.

Ao Lauri Simon, pela ajuda e disponibilidade para implementar os procedimentos desenvolvidos, o que permitiu a conclusão desta tese.

A todos os profissionais, professores e mentores que transmitiram e ajudaram a consolidar os meus conhecimentos ao longo de todos estes anos.

Aos professores, Catize Brandelero (UFSM), Rinaldo Barbosa Pinheiro (UFSM) e ao Dr. Sandro Vaccaro (CERAN), por terem aceitado integrar a comissão examinadora e terem contribuído para melhorar esta tese.

À professora Isabel Ramos (Universidade de Évora), pelos mesmos motivos mencionados anteriormente e em especial pelos grandes ensinamentos desde os tempos da Engenharia Biofísica, por acompanhar esta tese desde o início e pela enorme disponibilidade e simpatia em viajar tantas horas para poder participar presencialmente. Foi muito bom ter-te aqui, pena que passou demasiado rápido!!

Aos amigos do Laboratório de Engenharia Natural, Junior, Charles, Paula, Vini e Dione pelo companheirismo e amizade em todos os momentos neste longo percurso.

Aos melhores amigos do mundo, que mesmo à distância, sempre me deram o apoio essencial que permitiu a realização desta tese.

Ao Charles e à Greici (e ao cusco Juca) pelos maravilhosos momentos de convívio na partilha de casa, jantares, churrascos e grandes conversas sobre tudo e mais alguma coisa.

Especialmente ao Junior, por estar sempre presente e por todo o apoio e carinho nos bons e nos difíceis momentos que vivemos nos últimos meses...e aos quais sobrevivemos!

Aos meus pais, irmã e família por todo o amor e apoio na realização de mais um sonho.

Muito Obrigada a Todos!!

RESUMO

METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO PARA OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL

AUTORA: Rita dos Santos Sousa
ORIENTADOR: Fabrício Jaques Sutili

A Engenharia Natural consiste em um conjunto de técnicas que combinam materiais construtivos vivos com inertes, e que podem ser aplicadas como soluções construtivas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetam ecossistemas em equilíbrio dinâmico. Nas obras de Engenharia Natural não são utilizados procedimentos de avaliação de desempenho padronizados, através de metodologias. O planejamento e controle da produção são realizados informalmente de forma empírica e subjetiva. Com a crescente utilização mundial destas técnicas, do nível de exigência dos clientes, da reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de obras e da competição entre empresas, surge a demanda pelo desenvolvimento de um sistema padronizado para gestão das obras de Engenharia Natural, nomeadamente ao nível do planejamento e controle da produção (PCP). Neste sentido, o objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia de PCP para obras de Engenharia Natural, considerando os conceitos e princípios da *lean construction*. Foi elaborada uma metodologia com integração dos três níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional e especificado um sistema de indicadores de desempenho adaptados às especificidades da Engenharia Natural. Posteriormente, a metodologia foi validada através da aplicação prática a uma obra piloto executada no Brasil. A metodologia desenvolvida promoveu a aplicação dos princípios da *lean construction*. Teve enfoque na eficácia do processo de execução da obra, segundo o prazo e a sequência programados, aumentando a confiabilidade da produção, maior visibilidade em relação à expectativa da conclusão da obra, bem como, à identificação de causas de desvios que interferiram na sua execução e o aumento da eficiência no uso de recursos. O modelo de PCP proposto, pode ser considerado como um instrumento de integração entre as diferentes funções gerenciais da empresa, principalmente no que se refere à mitigação das perdas no processo de produção, sejam elas associadas a custos, prazos ou qualidade, proporcionando consistência, transparência e racionalidade na coleta e disseminação das informações dentro da organização. A concepção, implementação e utilização de um sistema de indicadores para medição de desempenho em obras de Engenharia Natural é inovador a nível internacional. O PCP e os indicadores de desempenho propostos promoveram a compreensão dos resultados obtidos e das causas de desvios, auxiliando o processo de tomada de decisão e a implementação de medidas corretivas que visaram a melhoria contínua do processo e da organização como um todo. O modelo proposto poderá sofrer alterações à medida que o processo de aprendizagem, consolidação dos conceitos e melhoria contínua ocorrerem na empresa. Nesse caso novos métodos, procedimentos, técnicas ou indicadores de desempenho podem ser estabelecidos.

Palavras-chave: Desempenho da produção. Indicadores de desempenho. Construção enxuta. Gestão da produção. Recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

PRODUCTION PLANNING AND CONTROL METHODOLOGY FOR SOIL BIOENGINEERING WORKS

AUTHOR: Rita dos Santos Sousa

ADVISOR: Fabrício Jaques Sutili

Soil Bioengineering consists of a group of techniques that combine live construction materials with inert materials which can be applied as constructive solutions to structural problems of geotechnical and hydraulic stabilization, control surface erosion processes, and simultaneously designs ecosystems in dynamic equilibrium. In Soil Bioengineering works are not used performance assessment procedures standardized, through methodologies. The production planning and control are informally conducted in an empirically and subjectively way. With the increasing worldwide use of these techniques, the level of customer requirement, the limited availability of financial resources for works execution and competition between companies comes up the need for the development of a standardized system for management of Soil Bioengineering works, particularly at the level of the production planning and control (PCP). Taking these issues into consideration, the aim of this work is to develop a methodology of PCP for Soil Bioengineering works, considering the concepts and principles of lean construction. A methodology was developed with the integration of three hierarchical levels: strategic, tactical and operational and was specified a system of key performance indicators adapted to the specificities of Soil Bioengineering. Afterwards, the methodology was validated through the practical application to a work performed in Brazil. The developed methodology promoted the application of the lean construction principles. Had focus on the effectiveness of the work execution process, according to the term and the programmed sequence, increasing the reliability of production, greater visibility in relation to the expectation of work conclusion, as well as, the identification of causes of deviations that interfered with work execution and the increased efficiency in the use of resources. The proposed PCP model can be considered as an integration tool between the company different management functions, especially regarding the mitigation of the losses in the production process associated with the costs, deadlines or quality, providing consistency, transparency and rationality in the collection and dissemination of information within the organization. The design, implementation and use of key indicators system for performance measurement in Soil Bioengineering works is innovative at an international level. The proposed PCP and key performance indicators promoted the understanding of the results and deviation causes, supporting the decision-making process and the implementation of corrective measures that aim continuous improvement of the process and of the organization as a whole. The proposed model may change as learning process, consolidation of concepts and continuous improvement occur in the company. In this case new methods, procedures, techniques or key performance indicators can be established.

Keywords: Production performance. Key Performance Indicators. Lean construction. Production management. Reclamation of degraded areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema simplificado das tipologias construtivas existentes em Engenharia Natural.....	30
Figura 2 - Exemplo de duas técnicas de revestimento. Intervenção com biomanta de coco (A). Intervenção de biomanta de coco combinada com hidrossemeadura (B)..	30
Figura 3 - Exemplo de duas técnicas de estabilização. Intervenção com biorretentores de coco com estacas vivas (A). Intervenção de feixes vivos combinados com gabião cilíndrico (B).	31
Figura 4 - Exemplo de duas técnicas de consolidação. Intervenção composta por muro de suporte vivo (parede krainer) fluvial com prumo frontal (A). Intervenção de composta por muro de suporte vivo (parede krainer) parede dupla (B).	32
Figura 5 - Esquema representativo do nível mínimo de energia em intervenções de Engenharia Natural.	34
Figura 6 - Evolução conceitual da eficiência técnica de uma intervenção de Engenharia Natural comparada com uma intervenção tradicional.	37
Figura 7 - Características básicas dos sistemas produtivos.....	41
Figura 8 - Modelo de sistema de gestão de medição.....	43
Figura 9 - Modelo tradicional de processo de produção como um processo de conversão que pode ser hierarquicamente dividido em subprocessos.	46
Figura 10 - Modelo do processo de produção <i>lean construction</i>	47
Figura 11 - Fases do processo de planejamento e controle da produção segundo a sua dimensão horizontal.	56
Figura 12 - Níveis hierárquicos do planejamento e controle da produção.....	59
Figura 13 - Implementação de sistema de indicadores de desempenho no sistema de produção.	72
Figura 14 - Exemplo de questionário aplicado para avaliar a satisfação do cliente. .	84
Figura 15 - Representação do ciclo PDCA.....	86
Figura 16 - Exemplo de um diagrama de Gantt.....	89

Figura 17 - Representação gráfica de curvas-S conceituais e parâmetros do método de gestão do valor agregado. As curvas tracejadas representam as projeções das tendências dos prazos e custos finais.	92
Figura 18 - Método de gestão PERT/CPM.	98
Figura 19 - Exemplo conceitual de uma rede PERT/CPM. a) representação da rede PERT/CPM com as precedências e duração das atividades. b) representação do caminho crítico para a rede e dos tempos mais cedo e mais tarde das atividades.	100
Figura 20 - Exemplo de uma EAP conceitual elaborada para uma obra de Engenharia Natural.	108
Figura 21 - Fluxograma das atividades que compõem a preparação do processo.	111
Figura 22 - Exemplo de planilha para a elaboração do plano mestre.	116
Figura 23 - Exemplo de planilha para a elaboração da programação de recursos classe 1.	117
Figura 24 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de longo prazo.	120
Figura 25 - Exemplo de planilha para a elaboração do plano de médio prazo.	123
Figura 26 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de médio prazo.	127
Figura 27 - Exemplo de planilha <i>last planner</i> para a elaboração do plano de curto prazo (P – planejado; E – executado).	130
Figura 28 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de curto prazo.	133
Figura 29 - Proposta de questionário para avaliação da satisfação do cliente.	147
Figura 30 - Indicadores de desempenho propostos na metodologia de planejamento e controle de produção e sua distribuição na avaliação das respectivas etapas.	148
Figura 31 - Modelo de planejamento e controle da produção nos três níveis hierárquicos.	150
Figura 32 - Localização da área de intervenção no ponto de confluência do Rio Ligeiro com o Rio Uruguai a jusante da UHE Machadinho.	152

Figura 33 - Vista frontal da área de intervenção em julho de 2016 (fotografia sem escala).....	153
Figura 34 - Estrutura Analítica de Partição do Projeto (EAP) preparada para a obra.	157
Figura 35 - Perfis topográficos A – A' e B – B' representados no zoneamento definido para a obra (Figura 36).	158
Figura 36 - Zoneamento definido para a obra.	159
Figura 37 - Plano mestre de longo prazo elaborado para a obra.	163
Figura 38 - Programação de recursos classe 1 definida para a obra.....	165
Figura 39 - Plano de médio prazo elaborado para as primeiras quatro semanas de obra (de 30/07 a 24/08).....	168
Figura 40 - Programação de recursos classes 1 e 2 definida para a obra.	169
Figura 41 - Plano de curto prazo elaborado para a primeira semana de obra (de 30/07 a 03/08).....	172
Figura 42 - Evolução do PPC durante as semanas de execução da obra.	175
Figura 43 - Frequência das causas de não cumprimentos dos planos de curto prazo.	177
Figura 44 - Evolução do PPC e da distribuição do número de causas de não cumprimento dos planos de curto prazo durante as semanas de execução da obra	178
Figura 45 - Evolução do percentual de atividades iniciadas no prazo (PAIP) ao longo dos três meses de execução da obra.....	179
Figura 46 - Evolução do percentual de atividades concluídas na duração prevista (PADP) ao longo dos três meses de execução da obra.....	180
Figura 47 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da primeira semana de obra (de 30/07 a 03/08).	204
Figura 48 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da segunda semana de obra (de 06/08 a 10/08).	205

Figura 49 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da terceira semana de obra (de 13/08 a 17/08).....	206
Figura 50 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da quarta semana de obra (de 20/08 a 24/08).....	207
Figura 51 - Plano de médio prazo elaborado para o segundo mês de obra (de 27/08 a 21/09).....	208
Figura 52 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da quinta semana de obra (de 27/08 a 31/08).....	209
Figura 53 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da sexta semana de obra (de 03/09 a 07/09).....	210
Figura 54 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da sétima semana de obra (de 10/09 a 14/09).....	211
Figura 55 - Primeira versão do plano de curto prazo elaborado para a oitava semana de obra (de 17/09 a 21/09).	212
Figura 56 - Plano de médio prazo do segundo mês de obra (de 27/08 a 21/09) revisado dia 14/09, após reunião para discussão das novas condições da obra (elevação do nível da água do reservatório.	213
Figura 57 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da oitava semana de obra (de 17/09 a 21/09). O plano apresentado foi revisado após reunião para discussão das novas condições da obra (elevação do nível da água do reservatório) e elaboração de novo plano de médio prazo para o segundo mês da obra.....	214
Figura 58 - Plano de médio prazo elaborado para o terceiro mês de obra (de 24/09 a 19/10).....	215
Figura 59 - Aspecto geral da área de intervenção 3 meses após execução das técnicas de Engenharia Natural (vista para jusante).....	218
Figura 60 - Aspecto geral da área de intervenção 3 meses após execução das técnicas de Engenharia Natural (vista para montante).	218

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Técnicas de intervenção especificadas no projeto executivo com respectivas quantidades previstas e executadas.	176
Tabela 2 - Resultados do indicador produtividade por serviços (Iprod) para cada técnica de intervenção. * técnicas de intervenção não concluídas; ** técnica de intervenção não executada.	182

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos critérios e variáveis utilizadas para cálculo do indicador.	84
Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos a partir do cálculo dos índices.	94
Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos a partir das estimativas para as tendências futuras da obra. * Tendência representada na Figura 17.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPM - Critical Path Method ou Método do Caminho Crítico

EAP - Estrutura Analítica de Partição do Projeto

GVA - Gestão de Valor Agregado

EVM - Earned Value Management (equivalente a GVA)

FATEC - Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência

IGLC - Grupo internacional pela Lean Construction

JIT - Just in Time

PAIP - Percentagem de Atividades Iniciadas no Prazo

PADP - Percentagem de Atividades Concluídas na Duração Prevista

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PDCA - Plan, Do, Check, Action ou Planejar, Executar, Verificar, Agir

PERT - Program Evaluation and Review Technique ou Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos

PBQP - Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade

PPC - Percentual de Planejamento Concluído

TQC - Total Quality Control ou Controle da Qualidade Total

TQM - Total Quality Management ou Gestão da Qualidade Total

UFES - Universidade Federal de Santa Maria

UHE - Usina Hidrelétrica

WBS - Work Breakdown Structure (equivalente a EAP)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 OBJETIVOS	25
1.1.1 Objetivo Geral	25
1.1.2 Objetivos Específicos	25
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2 ENGENHARIA NATURAL	27
2.1 DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA NATURAL.....	27
2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM OBRAS DE ENGENHARIA	33
2.3 SISTEMAS DE QUALIDADE EM ENGENHARIA NATURAL	38
3 GESTÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO	39
3.1 GESTÃO DA QUALIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO	39
3.2 EVOLUÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE	44
3.3 <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	45
3.3.1 Princípios da <i>Lean Construction</i>	48
3.3.1.1 <i>Redução das atividades que não agregam valor</i>	48
3.3.1.2 <i>Aumento do valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes</i>	49
3.3.1.3 <i>Redução da variabilidade</i>	49
3.3.1.4 <i>Redução do tempo de ciclo</i>	49
3.3.1.5 <i>Simplificação pela redução do número de passos ou partes</i>	50
3.3.1.6 <i>Aumento da flexibilidade na execução do produto</i>	50
3.3.1.7 <i>Aumento da transparência do processo</i>	50
3.3.1.8 <i>Foco no controle do processo global</i>	51
3.3.1.9 <i>Implementação de melhoria contínua no processo</i>	51
3.3.1.10 <i>Melhoria do balanço de fluxo por meio da melhoria da conversão</i>	52

3.3.1.11 <i>Benchmark</i>	52
3.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	53
3.4.1 Dimensão horizontal	55
3.4.2 Dimensão vertical	59
3.4.2.1 <i>Planejamento de longo prazo</i>	60
3.4.2.2 <i>Planejamento de médio prazo</i>	61
3.4.2.3 <i>Planejamento de curto prazo</i>	64
3.4.2.4 <i>Avaliação do processo de planejamento e controle da produção</i>	67
3.5 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ATRAVÉS DE SISTEMA DE INDICADORES... 68	
3.5.1 Principais indicadores de desempenho	73
3.5.1.1 <i>Percentual de Planejamento Concluído</i>	73
3.5.1.2 <i>Causas de não cumprimento</i>	74
3.5.1.3 <i>Desvio do custo da obra</i>	75
3.5.1.4 <i>Desvio do prazo da obra</i>	75
3.5.1.5 <i>Percentual de atividades iniciadas no prazo</i>	76
3.5.1.6 <i>Percentual de atividades completadas na duração prevista</i>	77
3.5.1.7 <i>Projeção de atraso da obra</i>	77
3.5.1.8 <i>Percentual de atividades no ritmo planejado</i>	78
3.5.1.9 <i>Produtividade por serviços</i>	79
3.5.1.10 <i>Produtividade global da obra</i>	80
3.5.1.11 <i>Índice de absenteísmo</i>	80
3.5.1.12 <i>Índice de erros na entrega dos materiais</i>	81
3.5.1.13 <i>Indicador de retrabalho</i>	82
3.5.1.14 <i>Indicador de não conformidade</i>	82
3.5.1.15 <i>Indicador de satisfação do cliente</i>	83
3.6 FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE GESTÃO DA QUALIDADE	85

3.6.1 Ciclo PDCA	85
3.6.2 Diagrama de Gantt	88
3.6.3 Estrutura Analítica de Partição do Projeto.....	89
3.6.4 Gestão do Valor Agregado	90
3.6.5 Técnicas de rede PERT/CPM.....	97
4 METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL	103
4.1 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL	106
4.1.1 Preparação do processo.....	107
4.1.2 Planejamento e controle da produção.....	112
<i>4.1.2.1 Planejamento de Longo Prazo</i>	<i>113</i>
<i>4.1.2.2 Planejamento de Médio Prazo</i>	<i>121</i>
<i>4.1.2.3 Planejamento de Curto Prazo</i>	<i>127</i>
4.1.3 Avaliação do processo	133
4.1.4 Indicadores de desempenho	134
4.1.5 Fluxograma do modelo proposto	149
5 APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA	151
5.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	151
5.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA A	155
5.3 PREPARAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	156
5.4 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO	162
5.5 PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO.....	166
5.6 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO.....	170
5.7 RESULTADOS DO CONTROLE DE DESEMPENHO DA OBRA	173
5.8 AVALIAÇÃO DO PROCESSO	184

5.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	185
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	191
REFERÊNCIAS	195
APÊNDICE A – PLANOS DE MÉDIO E CURTO PRAZO PARA A OBRA	203
APÊNDICE B – EVOLUÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO APÓS A OBRA	217

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Natural consiste em um conjunto de técnicas que combinam materiais construtivos vivos (plantas) com materiais inertes, e que podem ser aplicadas como soluções construtivas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2015; SOUSA; SUTILI, 2017).

A Engenharia Natural é definida como um subdomínio da Engenharia, que tem objetivos técnicos, ecológicos, construtivos e econômicos, podendo ser utilizada como substituto, mas principalmente como complemento útil e por vezes necessário às técnicas clássicas de Engenharia Civil (SCHIECHTL, 1980).

Estas técnicas promovem a utilização de materiais naturais adquiridos nos locais de intervenção (por exemplo, plantas, solo, pedra, madeira, e outros), o que geralmente leva a obras de menor custo relativamente às obras tradicionais de engenharia (FERNANDES; FREITAS, 2011). Devido à utilização de plantas, estas técnicas apresentam deformabilidade e capacidade de regeneração das partes danificadas, ao contrário das estruturas tradicionais construídas unicamente com materiais inertes, e além disso, a sua eficiência técnica é crescente com o tempo.

O uso de sistemas de gestão da qualidade no setor da construção, é essencial, para garantir o desempenho de obras por meio do cumprimento de critérios de qualidade, custo e tempo.

No entanto, o setor de construção de obras, possui características que o diferencia de outros setores produtivos. Nomeadamente o seu carácter nômade, a presença de produtos únicos e não seriados com produção centralizada em operários móveis, indústria tradicional com grande inércia a alterações. Também a utilização de mão de obra pouco qualificada e com baixa motivação devido às reduzidas possibilidades de promoção, a baixa produtividade, a desorganização do ambiente produtivo, sujeita às mudanças das condições ambientais, a grande diversidade de materiais e que utiliza parâmetros pouco definidos relativos a custos, prazos e qualidade dos produtos. Devido a estas características, os modelos de gestão da qualidade tradicionais, não são adequados à indústria da construção.

O modelo de produção proposto para o setor da construção por Koskela (1992), denominado de construção enxuta ou *lean construction* visa implementar um conjunto de princípios, adequados às particularidades deste setor, relacionadas com a execução de obras. Esses princípios podem ser implementados através da inserção de sistemas de planejamento e controle da produção nas empresas com o objetivo de melhorar a eficiência e eficácia do processo produtivo.

O processo de planejamento e controle da produção cumpre um papel fundamental nas empresas, uma vez que tem forte impacto no desempenho da função produtiva. Apesar do seu custo de implementação ser relativamente baixo e do fato que muitos profissionais têm consciência da sua importância, existem poucas empresas onde este processo é bem estruturado e desenvolvido.

Embora a *lean construction* e os seus princípios inovadores direcionados para o planejamento e controle da produção sejam pouco conhecidos e utilizados no setor de construção brasileiro, nos últimos anos, algumas empresas têm aplicado os seus princípios visando melhorar o seu desempenho (BERNARDES, 2017; POLITO, 2015).

As obras de Engenharia Natural não seguem procedimentos de avaliação de desempenho, estabelecidos e padronizados através de metodologias, sendo alvo de controle informal realizado de forma empírica e subjetiva que depende da experiência do profissional. Nos últimos anos, a Engenharia Natural tem sido caracterizada por uma crescente utilização a nível mundial, principalmente devido ao seu baixo impacto ambiental, mas também, por ser competitiva a nível de custos de execução. Além disso, o crescente nível de exigência por parte dos clientes, a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de obras, a competição entre empresas, entre outros fatores, têm estimulado as empresas a procurar atingir melhores níveis de desempenho, o que pode ser alcançado através da utilização de sistemas de planejamento e controle da produção.

Face ao exposto, surge a necessidade de serem desenvolvidos sistemas padronizados para gestão do desempenho de obras de Engenharia Natural, nomeadamente ao nível do planejamento e controle da produção. Os princípios propostos pela *lean construction* são adequados e aplicáveis ao setor da construção, particularmente às especificidades das obras de Engenharia Natural que são caracterizadas pela existência de atividades de conversão e fluxo, elevada complexidade executiva e grande variabilidade.

A aplicação de um sistema de planejamento e controle da produção que utiliza indicadores de desempenho, possibilita fornecer critérios técnicos que contribuam para a implementação de técnicas de planejamento em obras de Engenharia Natural e na medição do seu desempenho, melhorando o processo de tomada de decisão e a implementação de ações corretivas que visem a mitigação ou eliminação de causas de desvios de prazo, custo e qualidade e promovam a melhoria contínua, de forma semelhante ao que já se faz em outras áreas da Engenharia.

A presente tese visa contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento e controle da produção e de um sistema de indicadores de desempenho adaptados à realidade e particularidades das obras de Engenharia Natural, considerando os princípios fundamentais da *lean construction*. Posteriormente essa metodologia será aplicada em uma obra com o objetivo de validar a sua utilização e avaliar a eficácia do sistema proposto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia de planejamento e controle da produção para obras de Engenharia Natural, considerando os conceitos e princípios da *Lean Construction*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir os elementos e as etapas que devem compor a metodologia;
- Estabelecer um conjunto de indicadores de desempenho para avaliar a execução de obras de Engenharia Natural;
- Analisar a eficácia da metodologia proposta para avaliar o desempenho de uma obra de Engenharia Natural, através da sua validação com um caso prático realizado no Brasil.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo, no qual foram apresentados a contextualização do tema, o problema e os objetivos, esta tese é composta por mais cinco capítulos.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica que apresenta a Engenharia Natural como disciplina técnica. Abordam-se os principais conceitos, premissas técnicas e importância das plantas como material construtivo. Em seguida é feita uma abordagem traçando um paralelo entre soluções técnicas construtivas de Engenharia Natural e Engenharia Civil, e a forma como as duas disciplinas são estudadas e analisadas. No fim, é apresentado o estado de arte sobre sistemas de avaliação de desempenho aplicados à execução de obras de Engenharia Natural.

No capítulo 3 apresenta-se a revisão bibliográfica sobre a gestão de qualidade em sistemas de produção, seus princípios e métodos, bem como, o processo de planejamento e controle da produção, principais indicadores de desempenho, técnicas e ferramentas de controle de qualidade utilizadas na construção civil.

Posteriormente, no capítulo 4 apresenta-se a proposta de metodologia de planejamento e controle da produção para obras de Engenharia Natural, considerando os conceitos e princípios apresentados nos capítulos anteriores.

Na sequência, no capítulo 5, é exemplificada a aplicabilidade desta metodologia para um estudo de caso de uma obra de Engenharia Natural executada no Brasil e são apresentadas as considerações sobre a aplicação da metodologia proposta.

Por fim, no capítulo 6 são feitas as considerações finais e recomendações para desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 ENGENHARIA NATURAL

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica, onde se apresentam os principais conceitos de Engenharia Natural, o histórico de desenvolvimento deste campo construtivo, a importância das plantas, as principais técnicas construtivas e custos. Também é traçado um paralelo entre soluções construtivas de Engenharia Natural e Engenharia Civil e a forma como ambas disciplinas são estudadas e analisadas. No final é retratado o estado da arte sobre os sistemas de avaliação de desempenho aplicados à execução de obras de Engenharia Natural com base em pesquisas bibliográficas.

2.1 DEFINIÇÃO E PRINCÍPIOS DE ENGENHARIA NATURAL

A primeira definição proposta para a Engenharia Natural como disciplina caracteriza-a como um conjunto de técnicas que recorrem às leis da física da engenharia tradicional e a características biológicas da vegetação, ou seja, intervenções que englobam engenharia e biologia (KRUEDENER, 1951).

No entanto, a vantagem da utilização de plantas para estabilizar margens de cursos de água e taludes foi reconhecida há muitos séculos na Europa e na Ásia. Historiadores chineses registraram a utilização de técnicas de Engenharia Natural para reparação de diques no Rio Amarelo no século 28 a.C. (LEWIS, 2000).

O grande impulso ao desenvolvimento das técnicas de Engenharia Natural surgiu na Europa, como resultado de políticas de desenvolvimento implantadas durante os anos 30. As restrições financeiras impostas nos anos pré-guerra na Alemanha e Áustria favoreceram o uso de materiais locais de baixo custo em obras públicas. Por exemplo, a construção do sistema de autoestradas alemãs durante esta época envolveu extensivas aplicações de tecnologias de Engenharia Natural (LEWIS, 2000). Simultaneamente, na Califórnia, Charles Kraebel desenvolveu para o Serviço Florestal Americano (*USDA Forest Service*) soluções para estabilização de cortes de taludes rodoviários, que consistiam na combinação de diversas técnicas de Engenharia Natural (KRAEBEL, 1936).

Segundo Donat (1995), a Engenharia Natural baseia-se em conhecimentos biológicos para construção de estruturas hidráulicas e para estabilização de taludes e

margens de cursos de água. Plantas inteiras ou suas partes são usadas como material construtivo combinadas com outros materiais (mortos) de construção. No entanto, a Engenharia Natural não substitui, em todos os casos, a tradicional Engenharia Hidráulica ou Geotécnica, mas em muitas circunstâncias complementa e melhora outros métodos técnicos de engenharia.

A Engenharia Natural pode ser aplicada em obras de terra, especificamente a estabilização de taludes (naturais e de corte, de encostas e fluviais), no controle de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, na recuperação de áreas degradadas e na estabilização da condição hidráulica de canais abertos (naturais ou artificiais, de escoamento fluvial ou pluvial) (SUTILI; GAVASSONI, 2012).

O recurso à utilização das plantas, característica distintiva da Engenharia Natural em relação à Engenharia Civil, é fundamental, sendo as mesmas consideradas do ponto de vista funcional e técnico e não apenas ecológico e estético. Desta forma, as plantas são utilizadas como materiais construtivos vivos para proteção e estabilização de solos. Esta característica é muito importante e diferencia a Engenharia Natural das disciplinas tradicionais que recorrem apenas à utilização de materiais inertes, ou consideram apenas as plantas do ponto de vista paisagístico ou de restauração ecológica (CORNELINI; SAULI, 2005). Ou seja, na Engenharia Natural, as plantas deixam de ser consideradas apenas do ponto de vista estético, passando a desempenhar funções de elemento vivo construtivo (CORNELINI; SAULI, 2005; SOUSA; SUTILI, 2017), podendo ser utilizadas de forma isolada, ou combinadas com materiais inertes.

Para a especificação dos materiais construtivos vivos devem ser consideradas as características técnicas das plantas, denominadas como propriedades biotécnicas. Propriedade biotécnica pode ser definida como uma propriedade do material construtivo vivo, que através de características morfo-mecânicas desempenha uma função técnica (hidrológica ou mecânica), que através de um conjunto de ações tem efeitos (positivos) nas propriedades de engenharia dos solos. Os efeitos das plantas nas propriedades de engenharia do solo são resultado de um processo hidrológico e/ou mecânico que influencia a resistência do solo ou a sollicitação sobre o mesmo (SOUSA, 2015). Estas propriedades são essenciais para o sucesso das intervenções de Engenharia Natural (ABATE; GROTTA, 2009; CORNELINI; FERRARI, 2008; CORNELINI; SAULI, 2005; SOUSA, 2015; VENTI et al., 2003).

Outros parâmetros importantes para a escolha de materiais construtivos vivos em obras de Engenharia Natural são os requisitos, determinados pelas suas formas de uso, especificidades da solução construtiva e do local de aplicação (SOUSA; SUTILI, 2017). Os requisitos podem ser edafo-climáticos, nomeadamente temperatura, precipitação, tipo de solo, radiação solar, altitude, entre outros e caracterizam o tipo de habitat que as plantas têm capacidade de colonizar. Também podem ser requisitos ecológicos, como o tipo de comunidade, sucessão vegetal, competição e distribuição transversal ao longo das margens de cursos de água (nível de água e humidade do solo). Outro requisito, extremamente importante são as especificidades da técnica construtiva. Para técnicas de Engenharia Natural que dependem da utilização de partes de plantas, como por exemplo ramos ou galhos é obrigatório que as mesmas tenham capacidade de propagação vegetativa (reprodução assexuada). Além disso, as plantas devem obedecer às especificidades do local de intervenção, por exemplo, tolerância ao apedrejamento, resistência à submersão, aterramento e/ou exposição parcial das raízes.

Para técnicas que requeiram propagação vegetativa, a época de execução da obra é uma condicionante que deve ser considerada, uma vez que o material vegetal deve ser obrigatoriamente coletado durante o inverno, época em que as plantas estão em repouso vegetativo. Desta forma, o período de coleta do material vegetativo e a execução da obra devem obedecer a uma duração temporal de cerca de três meses. Exemplos destas técnicas são estacaria, feixes, esteira, siltação, entrançados, entre outras.

As técnicas de Engenharia Natural preconizam diversas formas de revegetação e modelos construtivos. O efeito proporcionado e os resultados obtidos dependem do tipo de material, modelo construtivo, das espécies vegetais e da forma de revegetação utilizada (DURLO; SUTILI, 2014).

A Engenharia Natural apresenta diversas tipologias construtivas que podem ser classificadas conforme a sua ação em profundidade em técnicas de revestimento, estabilização e consolidação (Figura 1). Existem outras classificações, como por exemplo, técnicas para cursos de água, taludes ou técnicas longitudinais/transversais. No entanto para esta tese foi utilizada a classificação segundo a profundidade de ação da técnica, uma vez que esta característica está relacionada à sua complexidade executiva.

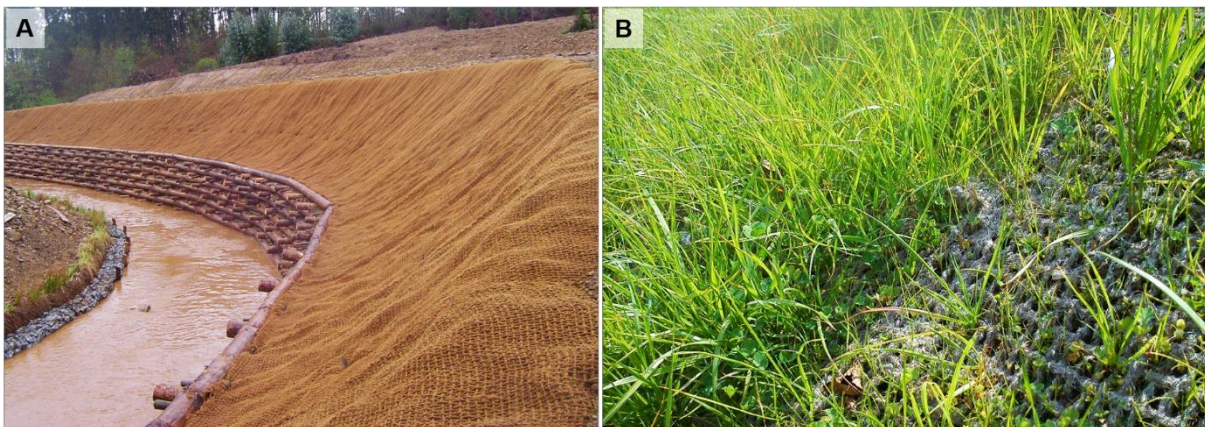
Figura 1 - Esquema simplificado das tipologias construtivas existentes em Engenharia Natural.



Fonte: A autora.

As técnicas de revestimento ou antierosivas consistem em soluções de cobertura e proteção superficial do solo, permitindo o controle de processos erosivos superficiais (VENTI et al., 2003). Podem ser constituídas por sementeira, hidrossemeadura, biomanta, geomalha, ou combinações entre elas. Na Figura 2 são apresentados dois exemplos com intervenções de revestimento para proteção superficial.

Figura 2 - Exemplo de duas técnicas de revestimento. Intervenção com biomanta de coco (A). Intervenção de biomanta de coco combinada com hidrossemeadura (B).



Fonte: A autora.

As técnicas de estabilização geralmente aplicam-se para a sistematização de movimentos de massa superficiais, na ordem dos 20 – 50 cm. A sua profundidade de atuação está diretamente relacionada com a capacidade de crescimento e alcance do sistema radicular das plantas (FERNANDES; FREITAS, 2011). São constituídas principalmente por material vegetal, como por exemplo, estacaria, feixes vivos, esteira viva, siltação viva, biorretentores de coco, banquetas vegetadas, ou combinações entre elas. Na Figura 3 são apresentados dois exemplos com obras de estabilização.

Figura 3 - Exemplo de duas técnicas de estabilização. Intervenção com biorretentores de coco com estacas vivas (A). Intervenção de feixes vivos combinados com gabião cilíndrico (B).



Fonte: A autora.

Técnicas de consolidação, por sua vez, consistem na combinação de materiais construtivos vivos com materiais inertes. São soluções que se caracterizam por apresentar uma estrutura construtiva mais complexa, eficácia técnica e são utilizadas na sistematização de movimentos de massa. A sua robustez permite-lhes um imediato efeito de consolidação, tanto em margens fluviais, como em taludes secos. Permitem, pela aplicação de sistemas combinados, diminuir a dimensão dos materiais inertes. Geralmente aplicam-se na consolidação de terrenos que sofreram movimentos de massa mais profundos, na ordem dos 50 – 200 cm de profundidade. Podem ser constituídas por enrocamento vegetado, muros de suporte vivo (parede krainer), grade viva, gabião vivo, terra reforçada, entre outras (VENTI et al., 2003). Normalmente são combinadas com técnicas de revestimento ou estabilização. Na Figura 4 são apresentados dois exemplos com intervenções de consolidação.

Figura 4 - Exemplo de duas técnicas de consolidação. Intervenção composta por muro de suporte vivo (parede krainer) fluvial com prumo frontal (A). Intervenção composta por muro de suporte vivo (parede krainer) parede dupla (B).



Fonte: A autora.

As tipologias construtivas descritas têm relação com o grau de complexidade das estruturas e também com a duração e custo da intervenção. Isto significa que intervenções para controle de erosão superficial são relativamente simples e de rápida execução e apresentam custos unitários baixos. Estruturas de estabilização são maioritariamente executadas com materiais construtivos vivos e apresentam complexidade executiva média, tendo custos intermediários entre obras de controle de erosão e estruturas de consolidação.

No caso de estruturas de consolidação, o seu efeito construtivo tem ação em profundidade (até 2,0 m) e por isso requerem a utilização de materiais construtivos inertes combinados com materiais vivos, a sua execução é complexa, e demanda quase sempre a utilização de maquinário e mão de obra com maior grau de especialização devido à especificidade e detalhamento construtivo. Além disso, enquanto obras para controle de erosão superficial criam efeito somente no local onde são aplicadas, intervenções de estabilização e consolidação têm efeito técnico e ambiental que se amplia para as áreas adjacentes.

Em consequência destes fatores a duração da execução das técnicas de consolidação é maior e os seus custos são mais elevados que as outras tipologias construtivas (FERNANDES; FREITAS, 2011), no entanto podem ser competitivas economicamente face às soluções tradicionais da engenharia, uma vez que a combinação de materiais vivos pode diminuir a quantidade e dimensões dos materiais inertes. Por exemplo, um enrocamento vivo especificado para um talude fluvial é dimensionado com pedra de tamanho inferior àquela utilizada num enrocamento

tradicional (sem plantas). Isto se deve ao fato que tecnicamente a presença de plantas através da ação das suas copas aumenta a rugosidade hidráulica (coeficiente de Manning), o que conseqüentemente diminui a velocidade do fluxo de água (SOUSA; SUTILI, 2017). Com a redução da velocidade (solicitação sobre o talude), o fluxo de água diminui a sua competência para transportar material inerte, baixando a dimensão da rocha transportada.

Estudos realizados apontam que as obras de Engenharia Natural normalmente têm custos inferiores aos da Engenharia Civil. Na Itália, onde a utilização destas técnicas tem grande importância, os custos das obras apresentam uma redução de 40% em relação às técnicas construtivas tradicionais (TALAMANTES-CONTRERAS, 2006). Pesquisas nos Estados Unidos da América demonstram que a Engenharia Natural é uma alternativa economicamente viável para aplicação em taludes de infraestruturas rodoviárias (LEWIS; SALISBURY; HAGEN, 2001). Pesquisas realizadas no Brasil apontam que as obras de Engenharia Natural têm custo de cerca de 50% inferior aos previstos para a Engenharia Civil (SOUSA; DEWES; SUTILI, 2018a, 2018b).

Esta redução de custos de execução está relacionada com o fato que, normalmente, obras de Engenharia Natural exigem menos equipamentos pesados para trabalhos de terraplanagem, e como resultado disso o seu custo é mais baixo e apresentam impactos ambientais menores que obras convencionais (LEWIS, 2000). Além disso, a utilização de materiais naturais, como por exemplo, solo, pedra, madeira e plantas, que normalmente estão disponíveis no local de intervenção reduz custos de execução (BLOEMER et al., 2015; CORNELINI; SAULI, 2005; SOTIR; GRAY, 1992; VENTI et al., 2003).

2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM OBRAS DE ENGENHARIA

Em sistemas construtivos utilizados em obras de engenharia são estabelecidas exigências para garantir o seu desempenho e qualidade. Da mesma forma, para que um sistema seja selecionado como solução construtiva deve ser conhecido o seu comportamento face a todas as solicitações. Estes fatores são especialmente importantes para obras de infraestrutura, como é o caso de processos erosivos e a perda de estabilidade em taludes de rodovias, dutovias, ferrovias, rios e barragens,

entre outros. Isso se deve ao fato que obras de infraestrutura têm maior responsabilidade técnica, possuem riscos associados mais elevados e devem responder a um conjunto de exigências legais de maiores consequências de caráter técnico, econômico e ambiental.

Na fase de planejamento, projeto e execução das intervenções de Engenharia Natural, tal como na Engenharia Civil devem ser atendidos critérios gerais que estas disciplinas devem seguir. Um dos critérios é utilizar a menor tecnologia necessária para resolução de um problema, denominada em Engenharia Natural como Lei do Mínimo de Energia (Figura 5).

Figura 5 - Esquema representativo do nível mínimo de energia em intervenções de Engenharia Natural.



Fonte: A autora (adaptado de SAULI; CORNELINI; PRETI, 2002).

Deverá ser utilizada a técnica de menor nível de energia (complexidade, tecnicismo, artificialidade, rigidez e custo), empregando soluções de menor impacto para a resolução de um problema, considerando inclusive a hipótese de não intervir (SAULI; CORNELINI; PRETI, 2002). Ou seja, as intervenções, quando necessárias, são utilizadas para solucionar apenas o que o problema exige, evitando-se

sobredimensionamento (erro deontológico)¹ ou subdimensionamento (erro técnico)². A ocorrência destes erros se traduz em maiores custos associados, ou seja, no caso de erro deontológico a obra será mais dispendiosa que o necessário para resolver o problema, e no erro técnico a obra não atende à resolução do problema e por isso terá que ser redimensionada e executada novamente.

Na fase de projeto as intervenções tradicionais de engenharia são analisadas considerando características climatológicas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas. Para a Engenharia Natural além destas também devem ser consideradas características florísticas, faunísticas e dos ecossistemas. Nesta fase também devem ser utilizados parâmetros e cálculos para dimensionamento das estruturas quanto à sua estabilidade e segurança. Enquanto que na Engenharia Civil estes cálculos estão bem consolidados, no caso da Engenharia Natural ainda devem ser estabelecidos parâmetros que considerem as ações e efeitos das plantas no cálculo de fatores de segurança (MAFFRA, 2018).

No caso dos materiais construtivos, para que um material seja especificado para uma obra de engenharia devem ser conhecidas todas as suas propriedades, bem como os objetivos que se pretendem alcançar com a intervenção. Tal como a Engenharia Civil procura e/ou manufatura materiais inertes com características que resultam em propriedades de engenharia adequadas às necessidades construtivas das obras, deve-se procurar na natureza materiais vivos que apresentem características morfológicas, mecânicas, fisiológicas e ecológicas que resultem em propriedades biotécnicas ajustadas às exigências construtivas (SOUSA, 2015).

No caso da Engenharia Natural, alguns dos materiais construtivos devem ser preferencialmente recolhidos no local de intervenção e suas proximidades, por exemplo, madeira, pedras e plantas, desde que atendam às especificações técnicas previstas no projeto. Nesse caso, as obras podem ter custos inferiores à Engenharia Civil e ainda apresentarem vantagens do ponto de vista ambiental e ecológico. Estas intervenções, devido à utilização de plantas como material construtivo apresentam

¹ Erro deontológico ocorre por excesso, utilizando uma intervenção demasiado complexa cuja resistência excede em muito a solicitação atuante durante a vida útil de projeto (CORNELINI; SAULI, 2005).

² Erro técnico ocorre por falta, utilizando-se uma intervenção demasiado simples em que a resistência fica aquém das solicitações atuantes (CORNELINI; SAULI, 2005).

esquemas construtivos mais flexíveis e permeáveis, e podem ser facilmente integrados na paisagem, não sofrendo recalques e movimentações de solo, e também não alteram a condutividade hidráulica do solo, contrariamente ao que ocorre com soluções rígidas e impermeáveis (SOUSA, 2015).

Especificações e normas técnicas para avaliação de desempenho são essenciais em obras de engenharia. Estas especificações estabelecem normas gerais e específicas, destinadas a fixar as características, condições ou requisitos necessários a uma solução construtiva. Em obras de Engenharia Natural, estas especificações técnicas devem também considerar os métodos de reprodução específicos para cada espécie vegetal, bem como o período adequado para utilização das plantas (normalmente período de repouso vegetativo).

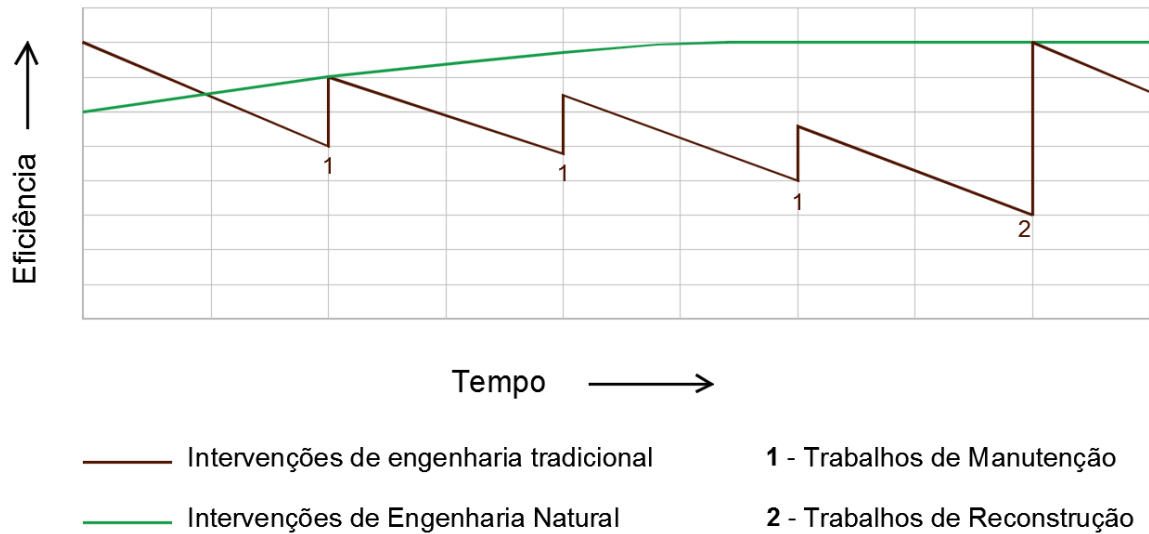
Logo, devem ser seguidos procedimentos para avaliação de desempenho de obras de Engenharia Natural, seja durante a sua fase de execução, ou durante o seu monitoramento. Nestes procedimentos devem ser especificados indicadores de desempenho, relacionados com as três variáveis utilizadas na Engenharia para análise de processos de produção, ou seja, qualidade, tempo e custo.

Ao se estabelecerem indicadores de desempenho na execução de obras, além da análise de desempenho perder a sua subjetividade inerente, também, se pode efetuar um planejamento estratégico para a gestão da obra. Os indicadores de desempenho servem como uma ferramenta de gestão que permite avaliar se uma obra está de acordo com o especificado em projeto, ou seja, se apresenta qualidade, se os custos estão controlados e seguem o comportamento previsto e se a produtividade segue os prazos estabelecidos em cronograma. Além disso, a utilização de indicadores facilita a definição de novas abordagens quando os objetivos do processo não são alcançados.

Uma obra de engenharia deve responder com igual responsabilidade a requisitos de qualidade, custo e tempo, o que significa que uma obra pode até apresentar custo baixo e prazos de execução inferiores aos previstos, mas se não atender às condições técnicas (qualidade) para a qual foi projetada não será viável.

Pode-se analisar de forma conceitual a eficiência técnica que reflete a qualidade de uma obra de engenharia ao longo do tempo, relacionando uma intervenção de Engenharia Civil com uma intervenção de Engenharia Natural, como se pode observar na Figura 6.

Figura 6 - Evolução conceitual da eficiência técnica de uma intervenção de Engenharia Natural comparada com uma intervenção tradicional.



Fonte: A autora (adaptado de RAUCH, 2014).

De acordo com o gráfico conceitual apresentado, pode-se verificar que uma intervenção de engenharia tradicional, imediatamente após a sua conclusão apresenta eficiência técnica máxima. No entanto, ao longo do tempo essa eficiência vai diminuindo devido à degradação da própria estrutura, e a obra requer medidas de manutenção para reparação (1). Após manutenção, a eficiência da obra volta a subir, porém não atinge o valor máximo e ao longo do tempo os valores de eficiência mesmo após manutenção são cada vez menores. Após um período de tempo a obra necessita ser reconstruída (2), pois as medidas de manutenção já não são suficientes para atender às exigências técnicas para qual a obra foi projetada.

No caso de intervenções de Engenharia Natural que combinem plantas com materiais inertes, após execução elas apresentam uma eficiência técnica menor que obras tradicionais de engenharia, no entanto essa eficiência é sempre crescente com o passar do tempo, até atingir o seu máximo. Após um determinado período de tempo alguns dos materiais inertes, como a madeira, começam a apodrecer e a degradar-se, no entanto, o efeito de suporte e de estabilização é substituído por um adequado desenvolvimento dos sistemas radiculares e aéreos das plantas. Se forem utilizados os materiais e sistemas construtivos vivos e inertes adequados, atingir-se-á uma elevada capacidade de resistência a tensões externas, sem esforços elevados e dispendiosos de manutenção.

Apesar de obras tradicionais de engenharia apresentarem uma duração limitada no tempo, do ponto de vista construtivo não têm limite técnico de aplicação, podendo por isso ser especificadas para a resolução de qualquer problema. Já a Engenharia Natural apresenta do ponto de vista técnico limites construtivos, relacionados com a estabilização de movimentos de massa profundos, e de acordo com isso, apenas em parte pode substituir a engenharia tradicional.

2.3 SISTEMAS DE QUALIDADE EM ENGENHARIA NATURAL

No que diz respeito ao estado de arte da Engenharia Natural em relação à utilização de sistemas de qualidade e avaliação de desempenho foi feita uma pesquisa aprofundada na literatura internacional especializada (livros, artigos científicos, boletins técnicos e outras publicações). Não foi encontrada nenhuma referência sobre a utilização destes sistemas na Engenharia Natural. Esta informação foi corroborada por outros profissionais e pesquisadores internacionais da área que não têm conhecimento que estas metodologias de avaliação de qualidade e sistemas de desempenho fossem aplicadas na elaboração de projetos ou em obras de Engenharia Natural.

Desta forma, verifica-se que na Engenharia Natural não existem procedimentos de avaliação de desempenho, estabelecidos e padronizados através de metodologias, e por isso esta análise normalmente é realizada de forma empírica e subjetiva que depende da experiência do profissional. Quando se definem metodologias para avaliação de desempenho da produção em obras de Engenharia Natural, além da análise de desempenho perder a sua subjetividade inerente ao avaliador, também se pode efetuar um planejamento estratégico para a gestão da obra.

3 GESTÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

As flutuações econômicas mundiais ocorridas nos últimos anos aumentaram a competitividade entre empresas, principalmente no setor da construção. O aumento da complexidade dos projetos e a exigência dos clientes por melhor qualidade, menores prazos e custos, influenciou as mudanças estruturais e comportamentais em empresas de construção. Além disso, empreendimentos de construção civil têm alta imprevisibilidade associada à grande quantidade de pessoas envolvidas no processo, grande interdependência entre atividades, variações climáticas, fornecedores, projetistas, comunidades afetadas, órgãos públicos, fiscalização, entre outros, exigindo por isso implementação de melhores práticas de gestão.

A adoção de sistemas de gestão e avaliação de obras visa melhorar a qualidade e desempenho das mesmas face a estas condicionantes, além de implementar processos que auxiliam na tomada de decisão e na melhoria contínua das empresas.

Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre a influência da gestão da qualidade em sistemas de produção e sua evolução, aborda a importância da implementação de um sistema de planejamento e controle da produção otimizado. Apresenta também, os principais indicadores de desempenho e ferramentas de gestão da qualidade utilizadas no setor da construção.

3.1 GESTÃO DA QUALIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Empresas podem ser entendidas como um sistema produtivo que transforma, através de um processamento, entradas (insumos) em saídas (produtos) úteis aos clientes (TUBINO, 2009). Segundo a NBR ISO 9000:2000 (ABNT, 2015a), qualquer atividade, ou conjunto de atividades, que usa recursos para transformar insumos em produtos pode ser considerado como um processo. Neste sentido a execução de uma obra de engenharia pode ser entendida como um processo produtivo.

Existem vários tipos de sistemas ou processos produtivos, e a sua classificação tem como objetivo facilitar o entendimento das características inerentes a cada sistema de produção e a sua relação com a complexidade de atividades de planejamento e controle desses sistemas. Os sistemas produtivos podem, ainda estar direcionados para a produção de bens ou serviços. Os sistemas de produção podem

ser classificados da seguinte forma (LUSTOSA et al., 2008; RAMOS, 2000; TUBINO, 2009):

- a) Sistemas de produção contínuos (ou em bateladas): apresentam alta uniformidade na produção e demanda de bens ou serviços, fazendo com que os produtos e os processos produtivos sejam totalmente interdependentes, favorecendo a sua automatização. Por exemplo, produção de bens de base como energia elétrica, petróleo, produtos químicos, ou serviços como limpeza contínua ou aquecimento, entre outros;
- b) Sistemas de produção em massa: utilizados na produção em grande escala de produtos altamente padronizados, no entanto os produtos não são passíveis de automatização em processos contínuos, exigindo participação de mão de obra especializada na transformação do produto. A demanda por estes produtos é estável e a estrutura produtiva é pouco flexível e altamente especializada. Por exemplo, linhas de montagem de automóveis, eletrodomésticos, ou prestação de serviços em grande escala, como transporte aéreo ou editoração de jornais;
- c) Sistemas de produção repetitivos em lotes: utilizados na produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes, de forma flexível, onde cada lote segue uma série de operações que necessitam ser programadas à medida que as operações anteriores forem sendo realizadas. Apresenta flutuações da demanda, empregam equipamentos pouco especializados e mão de obra mais polivalente. Por exemplo, empresas fornecedoras da cadeia automobilística ou do ramo metal mecânico, com departamentos de usinagem, fundição e solda, ou prestação de serviços na área de reparo de automóveis e eletrodomésticos.
- d) Sistemas de produção sob encomenda (ou por projeto): sistema voltado para o atendimento de necessidades específicas do cliente, com demandas baixas, tendendo para a unidade. O produto tem uma data específica negociada com o cliente e uma vez concluído o sistema produtivo se direciona para um novo projeto. Os produtos são concebidos em estreita ligação com o cliente, de modo que as suas especificações impõem uma organização dedicada ao projeto.

Apresentam alta flexibilidade dos recursos produtivos com foco no atendimento de especificidades dos clientes, normalmente à custa de certa ociosidade enquanto a demanda por bens ou serviços não ocorrer, gerando custos produtivos mais altos que os outros sistemas anteriormente apresentados. Por exemplo, fabricação de navios e aviões, ou prestação de serviços específicos, como propaganda, arquitetura ou advocacia.

As características básicas dos sistemas de produção descritas anteriormente podem ser observadas na Figura 7.

Figura 7 - Características básicas dos sistemas produtivos.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO		
Contínuos Massa	Repetitivos em Lotes	Sob Encomenda
Alta	Demanda/Volume de Produção	Baixa
Baixa	Flexibilidade/Variabilidade de itens	Alta
Curto	<i>Lead Time</i> Produtivo	Longo
Baixos	Custos	Altos

Fonte: (TUBINO, 2009).

De forma geral à medida que a demanda se torna mais diversificada, e os lotes diminuem, as funções de planejamento e controle da produção ficam mais complexas (TUBINO, 2009).

Neste sentido, a execução de uma obra de engenharia pode ser entendida como um sistema de produção sob encomenda, devido à sua alta especificidade executiva, onde a dinâmica do seu planejamento e controle da produção inicia com a negociação de um projeto específico com o cliente, que necessita saber em que data o sistema produtivo consegue finalizar o produto ou serviço.

Qualidade pode ser considerada abrangente e complexa e por isso não existe consenso sobre a sua conceituação. Segundo os principais autores da área, reconhecidos como os “gurus” da qualidade, qualidade pode ser definida como:

- Adequação ao uso e ausência de defeitos – Joseph M. Juran (CÔRREA; CÔRREA, 2012)
- Conformidade com os requisitos – Philip Bayard Crosby (BERSSANETI; BOUER, 2013);
- Qualidade como função de perdas – Genichi Taguchi (BERSSANETI; BOUER, 2013)
- Atender continuamente às necessidades e expectativas dos clientes a um preço que eles estejam dispostos a pagar - Edwards Deming (DEMING, 1990);
- Instrumento estratégico pelo qual todos os trabalhadores devem ser responsáveis, é uma filosofia de gestão e um compromisso com a excelência orientada para o cliente – Armand V. Feigenbaum (FEIGENBAUM, 1961 apud MARSHALL JUNIOR et al., 2011)

Ao longo dos anos a gestão da qualidade tem sofrido alterações e contínua evolução, principalmente devido à alteração das condições socioeconômicas. Nos últimos anos foram desenvolvidas diversas metodologias e enfoques gerenciais que visam a melhoria da qualidade. Um dos princípios básicos para a gestão da qualidade é a tomada de decisões baseada em dados e fatos (CAMPOS, 1992; HARRINGTON, 1993; JURAN, 1997; LANTELME, 1994), ao invés de se tomarem decisões baseadas em intuição, experiência pessoal e bom senso.

O processo de tomada de decisão deve ser constituído por uma sequência de etapas (LUNDGREN, 1974 apud LANTELME, 1994):

- a) Estabelecer objetivos, identificar problemas e estabelecer critérios para a tomada de decisão;
- b) Estabelecer várias alternativas viáveis e quais as consequências de cada uma delas;
- c) Avaliar as alternativas com base nos critérios definidos;
- d) Selecionar a melhor ação para solucionar o problema.

Desta forma, o processo de tomada de decisão deve ser acompanhado por informações que auxiliem na compreensão de quais as melhores ações/soluções a serem escolhidas. Essas informações são obtidas através do processo de medição, que pode ser definido como um processo pelo qual se decide o que medir, se faz a coleta de dados e posteriormente processamento e avaliação desses dados (SINK; TUTTLE, 1993). Os mesmos autores propõem um modelo que tem como enfoque a medição que deve integrar o sistema de gestão da empresa e que dá ênfase ao mecanismo de retroalimentação de informações para auxiliar a tomada de decisão (Figura 8).

Figura 8 - Modelo de sistema de gestão de medição.



Fonte: A autora (adaptado de SINK; TUTTLE, 1993).

O modelo de sistema de gestão esquematizado na Figura 8 pode representar uma empresa, um departamento ou um processo. A seção gerência representa os responsáveis pela tomada de decisão, que pode ser a gerência, diretores, supervisores ou funcionários. As decisões tomadas pela gerência resultam em intervenções sobre o processo, que devem ser apoiadas por informações geradas pela coleta, processamento e avaliação dos dados. Esses elementos constituem o processo de medição, que é cíclico e por isso deve ser constantemente retroalimentado, visando a melhoria do método de tomada de decisão.

A implementação de sistemas de gestão de qualidade e de indicadores de desempenho em empresas de execução de obras de engenharia facilita o processo de medição e posterior tomada de decisão.

3.2 EVOLUÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

Os sistemas de gestão da qualidade surgiram no Japão nos anos 50, baseados em duas filosofias básicas: a Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management – TQM*) e o *Just in Time* (JIT). O TQM foi desenvolvido por W. Edwards Deming, Joseph M. Juran e Armand V. Feigenbaum, consultores empresariais norte-americanos (BERSSANETI; BOUER, 2013; KOSKELA, 1992). Consiste na integração do planejamento e atividades de controle que visam a qualidade. A base do TQM é reduzir os erros durante o processo de fabricação ou serviço, aumentar a satisfação do cliente, buscar a modernização do equipamento e garantir que os funcionários tenham o mais alto nível de treinamento (JAVOID; HALEEM; SHOEB, 2014), ou seja, compreende a gestão das relações entre todos os intervenientes envolvidos com a empresa, não sendo restrito apenas ao relacionamento com o cliente.

Por sua vez o sistema *Just in Time* é uma filosofia de gestão que tem como objetivo eliminar fontes de desperdício de fabricação através da produção da parte certa no lugar certo no tempo certo (JAVOID; HALEEM; SHOEB, 2014). Consiste num conjunto de métodos e técnicas usadas para eliminar desperdícios, uma vez que estes resultam de atividades (como movimentações e armazenamento) que trazem custos sem agregar valor.

A primeira organização a aplicar estes conceitos e princípios foi a Toyota, no Japão, sendo o sistema denominado como Sistema Toyota de Produção (KOSKELA, 1992).

À medida que o nível de exigência no setor da construção aumentou, seja por parte dos clientes ou da mão de obra, as empresas têm feito consideráveis esforços para utilizar estas filosofias de gestão de qualidade, inicialmente desenvolvidas para outras indústrias. No Brasil, a partir de meados dos anos 80, tem sido observado um forte movimento no setor da construção para aplicação dos princípios e ferramentas do TQM (ISATTO et al., 2000). Apesar da filosofia TQM ter trazido importantes benefícios para o setor, ela atende apenas parcialmente às demandas empresariais, uma vez que os seus conceitos, princípios e ferramentas apresentam limitações

relacionadas à eficiência e eficácia do sistema de produção. Devido a estas limitações, além da disseminação errônea que o TQM é uma solução global para toda a organização, esta filosofia tem sofrido desgaste entre as empresas nos últimos anos (ISATTO et al., 2000).

O termo Gestão da Qualidade Total (TQM), muitas vezes é confundido com o Controle da Qualidade Total (TQC - *Total Quality Control*). O TQC pode ser definido como o controle ou gestão de uma organização onde se detectam e analisam os resultados não desejados (problemas), com o objetivo de procurar e atuar sobre as causas, de forma a melhorar esses resultados (LANTELME, 1994). Consiste num conjunto de atividades que envolvem toda a organização e que têm como objetivo assegurar o resultado final, com foco no cliente. Ou seja, o TQC tem como objetivo a melhoria dos produtos e serviços, enquanto o TQM objetiva melhorar a qualidade da gestão (KUBO, 2001), não se restringindo apenas ao relacionamento com o cliente.

Na prática, as atividades desenvolvidas pelas organizações que utilizam o TQM e o TQC são semelhantes e por isso conceitualmente pode-se considerar que o TQC é uma parte integrante do TQM. Em 1996 a nomenclatura TQC foi completamente substituída pelo TQM (KUBO, 2001).

Nos anos 90 surgiu um novo referencial teórico desenvolvido para a gestão de processos na construção civil, onde foram adaptados conceitos, princípios e práticas da gestão da produção às especificidades do setor da construção. Um marco essencial foi a publicação do trabalho do finlandês Lauri Koskela em 1992, intitulado *Application of the new production philosophy in the construction industry*, a partir do qual foi fundado o Grupo Internacional pela *Lean Construction* (IGLC), com o compromisso de adaptar e disseminar internacionalmente este novo paradigma no setor da construção (BERNARDES, 2017; ISATTO et al., 2000). Surge assim a *Lean Construction* ou Construção Enxuta, cuja maior mudança conceitual para a construção civil é o novo entendimento dos processos produtivos (BERNARDES, 2017; ISATTO et al., 2000).

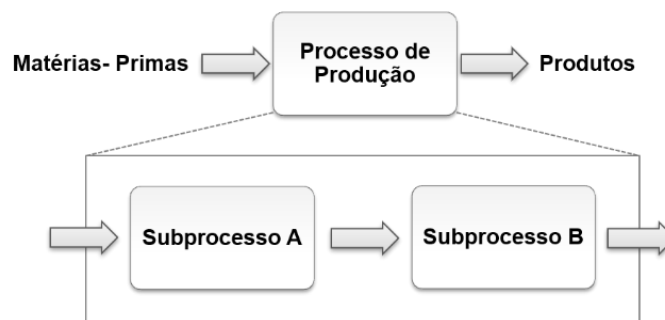
3.3 LEAN CONSTRUCTION

O modelo de produção *lean construction* surge com o objetivo de substituir o modelo tradicional onde o processo de produção consiste em atividades de conversão

de matérias-primas (*inputs*) em produtos (*outputs*), e que pode ser dividido em subprocessos, também considerados atividades de conversão (Figura 9). O modelo tradicional (modelo de conversão) assume que o custo total do processo pode ser minimizado através da redução do custo de cada subprocesso, e que o valor do produto está associado com os custos das matérias-primas (KOSKELA, 1992). Segundo o mesmo autor o modelo tradicional apresenta as seguintes lacunas:

- a) Os fluxos físicos de materiais, mão de obra e informações entre atividades não são considerados, sendo que grande parte dos custos na construção advêm destes fluxos;
- b) O controle da produção tende a focar-se nos subprocessos ao invés do processo de produção como um todo, o que limita a melhoria da eficiência global;
- c) A não consideração das exigências dos clientes pode resultar na produção de produtos inadequados, uma vez que segundo o modelo tradicional o valor de um produto apenas pode ser melhorado com a utilização de insumos de melhor qualidade.

Figura 9 - Modelo tradicional de processo de produção como um processo de conversão que pode ser hierarquicamente dividido em subprocessos.

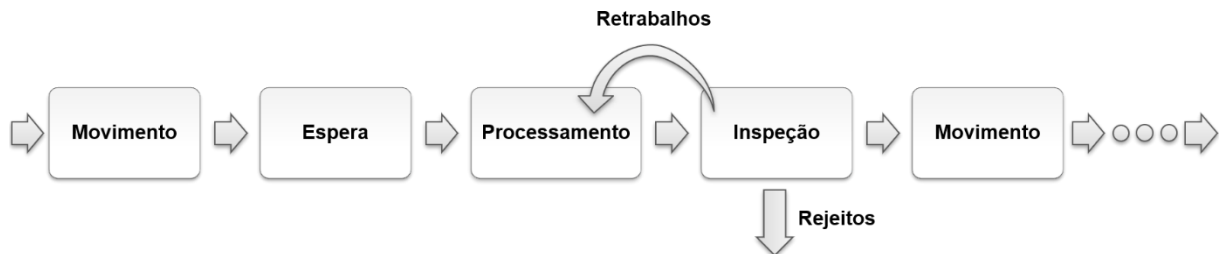


Fonte: A autora (adaptado de KOSKELA, 1992).

Por sua vez no modelo *lean construction* o processo produtivo é composto por atividades de conversão (processamento) e de fluxo (movimento, espera e inspeção) conforme representado na Figura 10. As atividades de fluxo não agregam valor ao produto, no entanto a sua gestão é fundamental para aumentar os níveis de desempenho do processo produtivo. Por sua vez, as atividades de conversão que são as que agregam valor ao produto, nem sempre geram valor (BERNARDES, 2017;

ISATTO et al., 2000; KOSKELA, 1992). Isto pode ocorrer quando o produto não atende às especificações e por isso existe a necessidade de retrabalho.

Figura 10 - Modelo do processo de produção *lean construction*.



Fonte: A autora (adaptado de KOSKELA, 1992).

É importante salientar que o modelo tradicional não é necessariamente errado, uma vez que ele é aplicável a sistemas de produção mais simples focados apenas no processo de conversão (ISATTO et al., 2000). No entanto, à medida que o sistema de produção fica mais complexo e os mercados mais competitivos, esse modelo de conversão deixa de representar adequadamente a produção. A complexidade aumenta as atividades de fluxo no sistema de produção e, além disso, o aumento da competição tende a aumentar as exigências dos clientes, o que requer um maior foco na gestão dos processos direcionado aos clientes.

Embora a *lean construction* e os seus princípios inovadores direcionados para o planejamento e controle da produção sejam pouco conhecidos na indústria da construção no Brasil, recentemente algumas empresas do setor têm aplicado os seus princípios visando melhorar o seu desempenho (BERNARDES, 2001, 2017; COSTA, 2003; LANTELME, 1994; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001; POLITO, 2015).

As obras de Engenharia Civil e particularmente as de Engenharia Natural devido ao seu grau de complexidade executiva são compostas por atividades de conversão e fluxo na produção e por isso o modelo proposto pela *lean construction* adapta-se melhor às suas especificidades, uma vez que sem a compreensão dessas atividades torna-se difícil tomar decisões adequadas que venham a mitigar ou a eliminar causas de desvios.

3.3.1 Princípios da *Lean Construction*

A *lean construction* tem o potencial de melhorar a eficiência e a eficácia dos sistemas de produção através da aplicação prática de onze princípios básicos propostos por Koskela (1992). Esse conjunto de princípios pode ser implementado através do processo de planejamento e controle da produção. A definição e benefícios de cada um desses princípios são apresentados de seguida.

3.3.1.1 *Redução das atividades que não agregam valor*

Considerado um dos princípios fundamentais da construção enxuta (ISATTO et al., 2000; KOSKELA, 1992), visa melhorar o processo e reduzir as suas perdas com base na melhoria da eficiência das atividades de conversão e fluxo, além da eliminação de algumas das atividades de fluxo.

As atividades que agregam valor podem ser definidas como atividades que convertem material e/ou informação relativamente aos requisitos e exigências dos clientes (KOSKELA, 1992), também denominadas de atividades de processamento ou conversão (BERNARDES, 2017).

Já as atividades que não agregam valor, também denominadas de desperdício, requerem tempo, recursos ou espaço mas não adicionam valor nem atendem aos requisitos dos clientes (KOSKELA, 1992). Reduzir estas atividades que não agregam valor é a diretriz fundamental da *lean construction*. No entanto, nem sempre é possível reduzir completamente as mesmas, uma vez que algumas delas, apesar de não agregarem valor direto para o cliente, são essenciais para a eficiência global do processo.

O planejamento e controle da produção promove a implementação deste princípio nas empresas (BERNARDES, 2017; POLITO, 2015), uma vez que o mesmo visa reduzir atividades de movimentação, espera e inspeção, além de evitar atividades de retrabalho para a correção de defeitos.

3.3.1.2 Aumento do valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes

Considerado outro princípio fundamental tem como objetivo identificar e atender às necessidades e expectativas dos clientes internos³ e externos⁴. A consideração dos requisitos dos clientes antes da execução das atividades reduz o retrabalho e conseqüentemente interferência nas atividades de fluxo. Esses requisitos devem ser considerados no planejamento e controle da produção.

3.3.1.3 Redução da variabilidade

Denominações equivalentes para este princípio são redução da incerteza ou aumento da previsibilidade (KOSKELA, 1992). A variabilidade pode estar relacionada à qualidade do produto, à duração das atividades ou aos recursos consumidos (ISATTO et al., 2000). Os mesmos autores também afirmam que existem vários tipos de variabilidade: relacionada à variação dimensional nos materiais, variabilidade na execução de um processo e a variabilidade na demanda que depende das exigências e necessidades dos clientes de um processo. A redução da variabilidade dentro dos processos deve ser considerada um objetivo intrínseco (KOSKELA, 1992). Apesar do processo de produção ser variável, a mesma deve ser minimizada, uma vez que do ponto de vista do cliente um produto uniforme é melhor, já que atende às especificações previamente definidas. Além disso, a variabilidade tende a aumentar a parcela de atividades que não agregam valor, bem como o tempo de ciclo.

3.3.1.4 Redução do tempo de ciclo

Tempo de ciclo pode ser definido como o somatório do tempo necessário para o processamento, inspeção, espera e movimento para produzir um determinado produto (KOSKELA, 1992). O tempo de ciclo pode ser diminuído através da redução das atividades que não agregam valor. A implementação deste princípio pode ser realizada por meio do processo de planejamento e controle da produção, que

³ Como clientes internos são considerados os funcionários da empresa ou as atividades seguintes.

⁴ Clientes externos são os clientes e/ou consumidores finais do produto.

possibilita a redução das atividades que não agregam valor através da coordenação dos fluxos de materiais e mão de obra e da diminuição de atividades de retrabalho.

3.3.1.5 Simplificação pela redução do número de passos ou partes

Segundo Koskela (1992), simplificação pode ser entendida como a redução do número de componentes de um produto e redução do número de passos no fluxo de materiais ou informação, eliminando desta forma as atividades que não agregam valor ao processo de produção. À medida que existe maior número de passos ou partes vinculadas ao processo, atividades de preparação, movimentação e inspeção aumentam e conseqüentemente aumentam também os custos da produção devido às atividades que não agregam valor. Segundo o mesmo autor, um planejamento eficaz da obra e a utilização de equipes de trabalho polivalentes podem ser alternativas viáveis para atingir a simplificação.

3.3.1.6 Aumento da flexibilidade na execução do produto

A produção deve ser flexível para mitigar os efeitos da incerteza criados pelas exigências dos clientes (BERNARDES, 2017). Segundo Koskela (1992), o aumento da flexibilidade pode ser obtido através de implementação de medidas práticas como por exemplo, redução do tamanho dos lotes e do tempo de preparação e alteração de equipamentos, desenvolvimento do processo para possibilitar a customização do produto às demandas dos clientes o mais tarde possível e a utilização de equipes de produção polivalentes. O processo de planejamento e controle da produção pode facilitar a implementação destas medidas práticas que aumentam a flexibilidade.

3.3.1.7 Aumento da transparência do processo

A ausência de transparência aumenta a ocorrência de erros, reduz a visibilidade e facilidade de identificação desses erros e diminui a motivação das equipes de trabalho no desenvolvimento de melhorias no processo de produção (ISATTO et al., 2000; KOSKELA, 1992). A falta de transparência em providenciar informações nos locais de trabalho contribui para a ocorrência de atividades que não agregam valor ao produto, por exemplo, espera e movimentação (BERNARDES,

2017). O processo de planejamento e controle da produção orienta a implementação deste princípio disponibilizando informações para os usuários no ambiente de produção, de acordo com a sua necessidade. A utilização de indicadores de desempenho, bem como a divulgação dos seus resultados para os responsáveis envolvidos na obra também aumenta a transparência do processo de produção.

3.3.1.8 Foco no controle do processo global

Na indústria da construção, devido ao grande número de pessoas envolvidas no processo de produção (projetistas, fornecedores, subempreiteiros, entre outros) existe a tendência para que cada interveniente seja apenas responsável pela sua parcela de atividades, não considerando o processo como um todo (KOSKELA, 1992; POLITO, 2015). Desta forma, cada nível gerencial tende a melhorar apenas a sua parcela de atividades. As melhorias no processo devem ser introduzidas de forma a melhorar o desempenho global da produção (SHINGO, 1996), uma vez que o controle do processo como um todo permite a identificação e a correção antecipada de desvios que possam interferir no prazo de entrega da obra (BERNARDES, 2017).

3.3.1.9 Implementação de melhoria contínua no processo

O esforço para reduzir o desperdício e aumentar o valor numa organização é uma atividade interna, incremental e iterativa, que pode e deve ser realizada continuamente (KOSKELA, 1992). À medida que os princípios descritos anteriormente são implementados na organização ocorre melhoria contínua nos processos.

A melhoria contínua pode ser institucionalizada através da aplicação de métodos de medição de desempenho, monitoramento, padronização de procedimentos, gestão participativa, implementação de ações corretivas, diminuição do tempo de ciclo, entre outros (BERNARDES, 2001, 2017; ISATTO et al., 2000; KOSKELA, 1992; POLITO, 2015).

3.3.1.10 Melhoria do balanço de fluxo por meio da melhoria da conversão

Para Koskela (1992), em qualquer processo produtivo o fluxo e a conversão apresentam diferentes potenciais de melhoria. Quanto maior a complexidade do processo de produção, maior o impacto da melhoria no fluxo. Estas medidas de aperfeiçoamento devem ser implementadas no início de programas de melhoria e geralmente requerem menores investimentos. Já as melhorias no processo de conversão (processamento) apresentam mais vantagens quando existem perdas inerentes à tecnologia em uso, e os seus efeitos são imediatos (ISATTO et al., 2000). Melhorias no fluxo e na conversão estão relacionadas, uma vez que uma boa gestão de fluxos facilita a introdução de novas tecnologias, e por sua vez a introdução dessas tecnologias tende a reduzir a variabilidade e favorecer o fluxo.

3.3.1.11 Benchmark

O processo de *benchmark* consiste numa avaliação comparativa com outros valores de referência no mercado. Segundo este princípio deve-se analisar e desenvolver processos levando em conta as melhores práticas existentes no mercado, adotadas em empresas consideradas líderes em determinado segmento ou aspecto específico da produção (BERNARDES, 2017; ISATTO et al., 2000). O *benchmarking* é um recurso facilitador da medição do desempenho, porque permite avaliar e comparar o desempenho da empresa em relação aos padrões atingidos por outras empresas, além da definição de novos desafios para a melhoria contínua (COSTA et al., 2005).

Os princípios apresentados devem ser aplicados de forma integrada na gestão de processos visando a melhoria do sistema de produção. Além disso, a aplicação destes princípios tem vinculação entre si, como exemplificado por Isatto et al. (2000), que afirmam que o princípio de aumentar a transparência facilita o reconhecimento e eliminação da parcela de atividades que não agregam valor, enquanto a redução do tempo de ciclo gera oportunidades para a melhoria contínua do sistema de produção.

Sucintamente, pode afirmar-se que a *lean construction* visa, principalmente, a redução dos prazos de execução, dos estoques de materiais, das perdas e retrabalhos por execução inadequada, bem como a melhoria na gestão dos recursos disponíveis

(materiais e mão de obra), além da consideração e gestão do processo global como um todo.

3.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Os princípios e conceitos da *lean construction* podem ser aplicados em empresas de construção através da implementação do processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

O acompanhamento e controle do sistema de produção visa proporcionar uma ligação entre o planejamento e a execução das atividades, de forma a identificar os desvios, a sua amplitude e fornecer meios para que os responsáveis pelas ações corretivas possam agir (TUBINO, 2009). Um sistema de acompanhamento e controle da produção eficiente é reflexo de um planejamento e controle da produção elaborado a partir de um planejamento real, sustentado por recursos equacionados de forma estratégica no plano de produção.

O plano de produção deve ser realístico e as ordens emitidas devem ter capacidade para serem executadas, pois caso contrário o plano de produção será ineficiente e ficará desacreditado (TUBINO, 2009). O planejamento e o controle de produção devem ser vistos como processos gerenciais que devem permear toda a estrutura da empresa, no entanto muitas vezes são confundidos com o trabalho isolado de um departamento da empresa ou com a simples aplicação de técnicas para a geração de planos (MATTOS, 2010).

Planejamento pode ser definido como um processo gerencial que compreende a definição de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para alcançá-los, sendo eficaz quando realizado em conjunto com o controle (FORMOSO et al., 1999, 2001; ISATTO et al., 2000). Desta forma, o planejamento e o controle estão diretamente relacionados uma vez que não existe controle sem planejamento, e o processo de planejamento é ineficaz se não existe controle. Ballard e Howell (1996 apud BERNARDES, 2017), citam que o processo de planejamento produz metas que permitem a gestão da produção, enquanto o controle garante o cumprimento dessas metas, bem como, a avaliação da sua conformidade com o planejado, fornecendo posteriormente informações para a preparação de planos futuros.

Segundo Polito (2015), o planejamento é um processo contínuo e dinâmico baseado num conjunto de ações intencionais, integradas, coordenadas e orientadas que têm um determinado objetivo, e que possibilitam a tomada de decisões antecipadas.

O controle deve ser realizado segundo duas dimensões, a eficiência e a eficácia. A eficiência refere-se ao uso racional dos recursos (equipamentos, materiais e mão de obra), medida pela relação entre o valor do produto gerado e o custo dos recursos utilizados. A eficácia diz respeito ao atendimento das metas definidas, expressas em forma de prazos e de sequências executivas relacionadas às diferentes fases da obra (ISATTO et al., 2000; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). Desta forma, o controle relacionado à eficiência deve procurar melhorar a forma como os recursos são utilizados, enquanto a eficácia visa aumentar a previsibilidade, corrigindo ou evitando desvios entre o planejado e a realidade.

O planejamento também auxilia na representação esquemática de uma atividade, uma vez que a memória humana tem capacidade limitada, além da incerteza envolvida no processo de antecipação. A necessidade de representação fica mais evidente conforme a memória humana se depara com a execução de tarefas nunca antes realizadas pela empresa (BERNARDES, 2017).

O planejamento na indústria da construção é um processo composto por vários elementos, onde quanto maior o número de elementos no processo mais facilmente o mesmo é reconhecido como planejamento. Esse processo é constituído por sete elementos (LAUFER et al., 1994):

- a) Um processo de tomada de decisão;
- b) Um processo de tomada de decisão antecipada, para decidir o que e/ou como devem ser tomadas decisões num determinado ponto no futuro;
- c) Um processo integrado de decisões interdependentes dentro de um sistema de decisões;
- d) Um processo hierárquico desenvolvido desde diretrizes gerais a objetivos, considerando meios e restrições que levam a um detalhado andamento de ações;
- e) Um processo que inclui uma sequência de atividades compostas por pesquisa e análise de informações, desenvolvimento, análise e avaliação de alternativas e escolha da solução;
- f) Utilização sistemática de procedimentos;

- g) Apresentação documentada, na forma de planos.

Resumidamente pode-se afirmar que o controle é parte inerente do planejamento, uma vez que o processo de planejamento consiste na tomada de decisões que visam a definição de objetivos e de procedimentos necessários para atingi-los, sendo bem-sucedido quando seguido de controle.

O processo de planejamento e controle da produção pode ser representado por duas dimensões: horizontal e vertical (LAUFER; L. TUCKER, 1987). Enquanto a dimensão horizontal representa as etapas do processo de planejamento e controle, a dimensão vertical representa como essas etapas estão vinculadas hierarquicamente entre os níveis gerenciais da empresa. Essas duas dimensões são descritas em seguida.

3.4.1 Dimensão horizontal

O processo de planejamento e controle da produção segundo a sua dimensão horizontal envolve cinco fases (LAUFER; L. TUCKER, 1987), representadas na Figura 11:

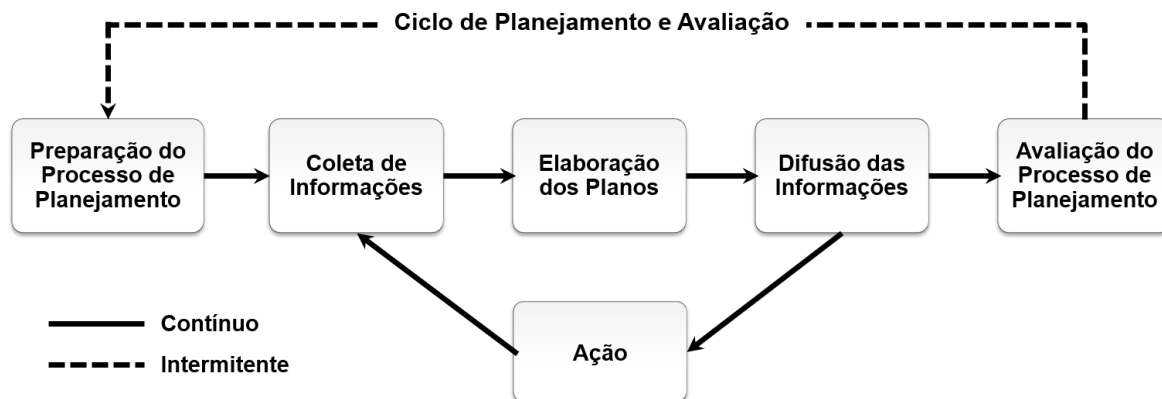
- a) Preparação do processo de planejamento: nesta fase são definidos os procedimentos e padrões a serem seguidos na execução do processo de planejamento. São definidos os responsáveis de cada etapa de planejamento e controle, detalhadas as metas do planejamento, frequência de replanejamento, indicadores a serem coletados, estabelecidos os padrões de planejamento (definições de padrões a serem utilizados na realização do planejamento e controle como, por exemplo, a Estrutura Analítica de Partição do Projeto - EAP⁵ e o zoneamento da obra em áreas). Também são tomadas algumas

⁵ Estrutura Analítica de Partição do Projeto (EAP) ou *Work Breakdown Structure* (WBS) refere-se à decomposição da obra em subsistemas com definição das hierarquias entre atividades que são decompostas. Ou seja, a obra é dividida em atividades principais (ou unidades de controle de serviço) que por sua vez são decompostas em tarefas (ou pacotes de trabalho). Por exemplo, uma obra de Engenharia Natural, pode ser constituída por uma atividade denominada enrocamento vivo, que por sua vez é decomposta em tarefas como terraplenagem, aplicação de pedra, plantio de mudas e estacas, entre outras.

decisões iniciais sobre a produção que condicionam a realização do planejamento nos seus diversos níveis, por exemplo, detalhamento das restrições⁶ para a realização das atividades e definição da estratégia de ataque à obra;

- b) Coleta de informações: nesta fase são coletadas todas as informações necessárias para elaboração do planejamento, incluídas em contratos, especificações técnicas, projetos, técnicas a serem utilizadas, dados de equipamentos, metas estabelecidas pela gerência, entre outras. Iniciada a execução da obra, a coleta de informações diz respeito aos recursos consumidos e às metas alcançadas. Para Laufer e Howell (1993 apud BERNARDES, 2017) o objetivo desta fase é reduzir a incerteza⁷ associada aos sistemas produtivos, com base numa abordagem em que são selecionadas de forma sistemática as informações necessárias à execução do processo produtivo;

Figura 11 - Fases do processo de planejamento e controle da produção segundo a sua dimensão horizontal.



Fonte: A autora (adaptado de LAUFER; L. TUCKER, 1987).

- c) Elaboração dos planos: consiste na fase em que são elaborados os planos de obra. Geralmente em empresas de construção esta etapa é a que recebe a maior atenção por parte dos responsáveis do

⁶ Restrições dizem respeito às limitações de recursos físicos (materiais, mão de obra, equipamentos) ou recursos financeiros, comprometimento dos recursos da empresa em outras obras e dificuldades de acesso à obra e arranjo físico (ISATTO et al., 2000).

⁷ Incerteza neste contexto pode ser definida como a diferença entre a quantidade de informação necessária para realizar a atividade e a quantidade de informação na posse dos responsáveis pela atividade (LAUFER, 2009).

planejamento. Podem ser utilizadas várias técnicas para elaboração dos planos, como por exemplo, técnicas de rede (Método do Caminho Crítico (CPM), Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos (PERT) ou diagramas de precedência), linhas de balanço e diagrama de Gantt. As técnicas de CPM/PERT e diagrama de Gantt serão abordadas e detalhadas com maior ênfase na seção 3.6. Já a técnica de linha de balanço é utilizada em empreendimentos com características repetitivas, como prédios altos ou conjuntos habitacionais e por isso não será detalhada, uma vez que obras de Engenharia Natural não apresentam estas características. Independentemente das técnicas escolhidas para elaboração dos planos de obra, as mesmas devem ser hierarquizadas nos diferentes níveis de planejamento vertical, uma vez que cada nível possui uma função específica no processo;

- d) Difusão das informações: nesta etapa as informações geradas no plano de obra são difundidas entre os seus usuários (vários setores da empresa, projetistas, fornecedores de materiais e subempreiteiros). As informações devem ser preparadas de acordo com as necessidades das pessoas que as irão utilizar. Segundo Bernardes (2017), esta etapa pode apresentar três problemas principais: algumas pessoas podem sentir-se prejudicadas com os resultados obtidos pelo planejamento, e por isso criarem barreiras à sua implementação; existência de grande quantidade de informações organizadas em formato não adequado; e por fim presença de dois sistemas de informações paralelos de gestão da obra, um formal no escritório (nível tático) e outro informal no canteiro de obras (nível operacional) que dita a curto prazo o andamento da obra;
- e) Ação: compreende a etapa de monitoramento⁸ e controle do progresso da produção, em que as informações coletadas são utilizadas para atualizar os planos e elaborar relatórios de desempenho (FORMOSO, 1991). Os responsáveis devem avaliar o progresso real da obra comparando-o com o previsto nos planos, identificar as causas do atraso, propor ações corretivas e se necessário revisar e atualizar os

⁸ Monitoramento diferencia-se de controle, uma vez que monitoramento compreende apenas o levantamento de dados, enquanto que o controle prevê a realização de ações corretivas.

planos. Conforme indicado por Laufer e Tucker (1987), o responsável da obra deve realizar o monitoramento e controle, atentando para três tipos de riscos⁹: conceitual (resultado de uma formulação incorreta do problema); administrativo (resultado de uma falha da administração ao implementar uma ação para solucionar um problema); e ambiental (resultado de uma mudança ambiental não prevista que pode causar desvios em planos bem formulados);

- f) Avaliação do processo de planejamento: diz respeito à avaliação global do processo de planejamento no final da obra, de forma a possibilitar a melhoria do processo em empreendimentos futuros. Esta avaliação deve ser realizada através da utilização de indicadores de desempenho.

O ciclo de planejamento e avaliação que engloba a primeira e última fase do processo, tem caráter intermitente e refere-se às definições do processo de planejamento realizada no início do empreendimento e às avaliações do processo, parciais ou no final do empreendimento (BERNARDES, 2017; COSTA, 2005; ISATTO et al., 2000).

Já as fases intermediárias formam um ciclo contínuo durante toda a produção, que se repete várias vezes durante a execução da obra. Durante o processo ocorre também um ciclo de replanejamento que inicia com a coleta de informações do sistema alvo de controle, posteriormente processadas durante a elaboração dos planos e em seguida difundidas para os responsáveis que delas necessitam. A partir dessas informações são tomadas ações que possibilitam o cumprimento dos objetivos estabelecidos e novamente coletadas informações, reiniciando o ciclo de replanejamento.

Segundo Laufer e Tucker (1987), na indústria da construção a primeira e última fase do processo são praticamente inexistentes, enquanto as intermediárias são desenvolvidas de forma incipiente. Um problema frequente no processo de planejamento é a demora na retroalimentação com informações, dificultando a implementação de ações corretivas em tempo útil (ISATTO et al., 2000).

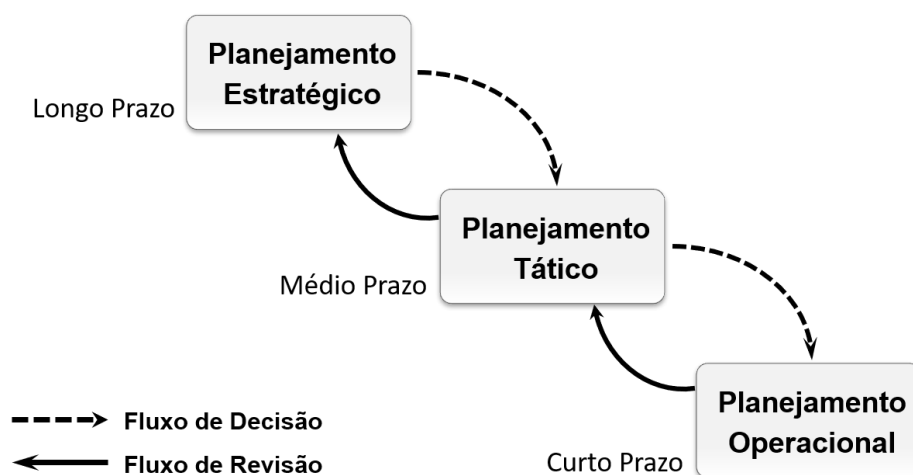
⁹ Risco é considerado como a chance de ocorrer um problema não esperado e que afeta diretamente na execução da obra (TURNER, 2009).

3.4.2 Dimensão vertical

O planejamento deve ser realizado de forma integrada considerando os vários níveis gerenciais da empresa (BERNARDES, 2017; FORMOSO, 1991; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000; LAUFER; L. TUCKER, 1987; LUSTOSA et al., 2008; POLITO, 2015). A hierarquização do processo de planejamento é uma das formas de proteger a produção contra a incerteza e a variabilidade e face a isso os planos devem ser preparados em cada nível com um grau de detalhe adequado (FORMOSO, 1991; ISATTO et al., 2000; LAUFER; L. TUCKER, 1987). Segundo Formoso (1991), quanto mais elevado o nível hierárquico menor o grau de detalhe dos planos e maior a incerteza associada ao processo de planejamento. Ou seja, o grau de incerteza sobre a execução de uma determinada atividade aumenta quanto maior for o horizonte de planejamento necessário para implementar um determinado plano (LAUFER, 1997). Planos que tenham horizonte de planejamento de longo prazo e alto grau de detalhamento normalmente são pouco eficazes na gestão da produção (ISATTO et al., 2000), além de demandarem muito tempo para serem elaborados.

Os três níveis hierárquicos de planejamento e controle de produção são longo, médio e curto prazo, que correspondem ao planejamento estratégico, tático e operacional, respectivamente, como representado na Figura 12.

Figura 12 - Níveis hierárquicos do planejamento e controle da produção.



Fonte: A autora.

3.4.2.1 Planejamento de longo prazo

Também denominado como planejamento mestre é desenvolvido no nível estratégico da empresa e diz respeito ao processo global da produção. Visa facilitar a identificação dos objetivos principais da obra (LAUFER, 1997) e apresenta baixo grau de detalhe (BERNARDES, 2017; POLITO, 2015).

Os principais produtos gerados nesta fase são o plano de longo prazo (plano mestre), o cronograma físico financeiro e a programação e aquisição de recursos classe 1¹⁰ (BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001). As principais atividades desenvolvidas nesta etapa são as seguintes (BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000):

- a) Coleta de informações: as informações necessárias para elaborar o plano mestre são provenientes da etapa de preparação do processo de planejamento. Durante a execução da obra ao revisar e atualizar o plano mestre devem ser utilizadas informações provenientes do planejamento de médio prazo;
- b) Elaboração do plano de longo prazo: visa estabelecer as metas e a definição dos ritmos de trabalho para as equipes de produção de acordo com a disponibilidade financeira, garantindo o aumento da eficiência das mesmas. Podem ser utilizadas várias técnicas para elaborar o plano, como por exemplo, diagrama de Gantt, redes de precedência (CPM/PERT), diagrama de setas ou linha de balanço;
- c) Gerar fluxo de caixa: compreende a organização do planejamento financeiro da empresa para execução da obra, com base na previsão de receitas e despesas;
- d) Difusão do plano de longo prazo: consiste na divulgação do plano mestre apresentado de acordo com as necessidades dos usuários. Pode ocorrer de forma escrita ou verbal através de reuniões na empresa ou canteiro de obras;

¹⁰ Recursos classe 1 refere-se aos recursos cuja programação de compra ou contratação deve ser realizada no longo prazo, uma vez que requerem longo prazo de aquisição e baixa repetitividade, como por exemplo, mão de obra própria ou terceirizada, equipamentos ou materiais com longo prazo de entrega (BERNARDES, 2001, 2017).

- e) Programação de recursos classe 1: envolve a elaboração da programação da compra, aluguer ou contratação de recursos de longo prazo;
- f) Difusão de programação de recursos classe 1: após a programação da compra deve ser feita a divulgação para os departamentos responsáveis, como setor de recursos humanos (contratação de mão de obra) e setor de suprimentos (materiais, máquinas e equipamentos);
- g) Contratação de mão de obra, materiais e equipamentos: corresponde à contratação propriamente dita da mão de obra, dos materiais classe 1 e dos equipamentos, com base nas datas definidas no plano mestre. Pode ser realizado através da compra ou aluguer.

A elaboração do planejamento de longo prazo requer um esforço relativamente grande pelos responsáveis, normalmente o engenheiro de obra em empresas pequenas e de médio porte ou o planejador (profissional especializado em planejamento) junto com o engenheiro de obra em empresas de grande porte, sendo comum a utilização de pacotes computacionais. Independentemente do responsável pela elaboração do planejamento, o plano mestre e o fluxo de caixa detalhados normalmente são submetidos à avaliação e aprovação da direção da empresa, que consideram a necessidade de integrar o planejamento dos vários empreendimentos da empresa, caso seja pertinente.

O plano mestre deve ser revisado se ocorrerem mudanças no andamento da obra, motivadas por atrasos na execução, mudanças no fluxo de receitas, entre outros fatores. Para proceder à revisão do plano são necessárias informações dos níveis de planejamento de médio e curto prazo (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001).

3.4.2.2 *Planejamento de médio prazo*

Constitui o segundo nível de planejamento tático, que visa vincular as metas definidas no plano mestre com aquelas estabelecidas no curto prazo (FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001; POLITO, 2015) e também é denominado como *lookahead planning* (BALLARD, 1997).

Para o desenvolvimento do planejamento de médio prazo, as metas gerais definidas no plano mestre são detalhadas e segmentadas em pacotes de trabalho (tarefas), em função do zoneamento das áreas de trabalho determinadas na etapa de preparação do processo de planejamento.

A gestão a médio prazo também visa definir o equilíbrio entre a carga de trabalho e a capacidade produtiva da empresa, de forma a atender aos fluxos de trabalho determinados (POLITO, 2015). Este plano consiste num elemento chave para melhorar o planejamento a curto prazo e conseqüentemente reduzir o custo e prazo da obra (BALLARD, 1997), com base na análise dos fluxos de trabalho que visam um sequenciamento que diminua a parcela de atividades que não agregam valor ao processo de produção (BERNARDES, 2017). Além disso, também constitui um mecanismo de proteção da produção contra as incertezas realizada através da identificação e remoção das restrições (BALLARD; HOWELL, 1998; BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001).

A proteção também ocorre contra as incertezas associadas à disponibilidade de recursos financeiros para o período correspondente a este horizonte de planejamento, e caso não haja recurso suficiente ajusta-se a programação de recursos prevista pelo plano mestre (ISATTO et al., 2000). As principais atividades desenvolvidas nesta etapa são as seguintes (BERNARDES, 2017; COSTA, 2005; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000):

- a) Coleta de informações: as informações necessárias para elaborar o plano de médio prazo são provenientes do planejamento de longo e curto prazo. Durante a execução da obra deve ser controlada a execução efetiva das tarefas no curto prazo, o que possibilita a retroalimentação do plano de médio prazo e conseqüentemente a definição de metas confiáveis;
- b) Análise dos fluxos físicos: devem ser definidos os fluxos de trabalho com objetivo de segmentar as unidades de produção na obra em zonas menores e passíveis de controle, evitando o conflito entre equipes de trabalho, além de sequenciar adequadamente as tarefas;
- c) Elaboração do plano de médio prazo: para elaborar o planejamento de médio prazo podem ser utilizadas várias técnicas, como por exemplo, diagrama de Gantt ou redes de precedência com maior grau de detalhamento que no plano mestre;

- d) Difusão do plano de médio prazo: consiste na divulgação do plano para o responsável pela elaboração do plano de curto prazo e para o setor de suprimentos da empresa evitando interrupções do fluxo de trabalho por falta de recursos;
- e) Programação de recursos classe 2 e 3: nesta programação devem ser identificadas as datas limites para fornecimento dos recursos classe 2¹¹ e 3¹² ao canteiro de obras de forma a evitar a descontinuidade do planejamento de curto prazo por falta de recursos;
- f) Difusão de programação de recursos classe 2 e 3: após a programação da compra deve ser feita a divulgação para os departamentos responsáveis, como setor de recursos humanos e setor de suprimentos, com as datas limites de disponibilização dos recursos;
- g) Contratação de mão de obra, materiais e equipamentos: corresponde à contratação propriamente dita da mão de obra, dos materiais classe 2 e 3 e dos equipamentos, dentro dos prazos limites estipulados na programação de forma a evitar atrasos na produção. Pode ser realizado através da compra ou aluguer;
- h) Disponibilização de recursos classe 1, 2 e 3: consiste no processo de rastreamento e entrega dos recursos adquiridos pelo setor de suprimentos. Além disso, deve ser feita a conferência dos materiais no canteiro de obras e a notificação ao setor de suprimentos caso exista alguma não conformidade. Esta atividade é da responsabilidade do setor de suprimentos que deve garantir a disponibilização dos recursos nos prazos programados e nas especificações definidas pelo responsável da obra.

A elaboração do planejamento de médio prazo é da responsabilidade do engenheiro da obra (BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000). Em cada ciclo de replanejamento são elaborados relatórios relativos ao

¹¹ Recursos classe 2 são aqueles caracterizados por um ciclo de aquisição inferior a 30 dias e por uma média frequência de repetição, geralmente em frações da quantidade total do recurso (BERNARDES, 2001).

¹² Recursos classe 3 são caracterizados por pequeno ciclo de aquisição e de alta repetitividade. A compra destes recursos é realizada a partir do controle de estoque da obra (BERNARDES, 2001).

andamento da produção na obra e que são transmitidos à direção da empresa e ao mestre de obras garantindo a articulação e a consistência entre os vários níveis de planejamento.

Dependendo da duração total da obra e da sua complexidade, o planejamento de médio prazo pode ocorrer em horizontes que variam de duas semanas a três meses. Em obras de longo prazo de execução o plano de médio prazo tende a ser bi ou trimestral com atualizações mensais. Em obras mais rápidas ou com elevado grau de incerteza o planejamento tende a ser mais curto, por exemplo mensal com atualizações semanais. Desta forma, verifica-se que o horizonte de planejamento é sempre maior que o ciclo de controle (MOURA, 2008).

3.4.2.3 Planejamento de curto prazo

O planejamento de curto prazo ou de comprometimento consiste no terceiro nível de planejamento operacional e tem como objetivo orientar a execução da obra, especificando pacotes de trabalho direcionados às equipes de produção (FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). O planejamento de curto prazo deve ser direcionado à proteção da produção contra os efeitos da incerteza, com base na utilização de planos passíveis de serem executados e que foram submetidos à análise de cumprimentos de seus requisitos, além da análise das razões pelas quais as tarefas planejadas não foram realizadas, caso se aplique (BALLARD; HOWELL, 1997).

Além dos pacotes de trabalho planejados, também devem ser especificadas tarefas de reserva, que apesar de não serem prioritárias têm como objetivo garantir a continuidade da obra, caso venham a ocorrer imprevistos com as tarefas planejadas no curto prazo, seja por baixa ou alta produtividade ou outras causas (BALLARD; HOWELL, 1997; KOSKELA, 1999). Para elaboração do plano de curto prazo devem ser cumpridos os seguintes requisitos de qualidade (BALLARD; HOWELL, 1997):

- a) Definição: as tarefas de obra devem estar detalhadas de forma a que o tipo e quantidade de materiais necessários sejam claros, que as atividades possam estar coordenadas entre as equipes de trabalho e que no final da semana seja possível avaliar se essas tarefas foram concluídas;

- b) Solidez: os pacotes de trabalho devem ser sólidos, ou seja, os recursos necessários devem estar disponíveis, as especificações construtivas têm que estar claramente definidas e as tarefas pré-requisito devem estar concluídas;
- c) Sequência: os pacotes de trabalho devem ser selecionados de acordo com a sequência prevista nos planos, de forma a atender à continuidade das atividades de outras unidades de produção, bem como, às necessidades dos clientes;
- d) Dimensão: o tamanho e quantidade de tarefas planejadas para a semana deve corresponder à capacidade produtiva de cada equipe;
- e) Aprendizagem: devem ser identificadas as razões pelas quais os pacotes de trabalho não foram concluídos, o que promove a implementação de ações corretivas e a definição futura de pacotes de trabalho passíveis de serem terminados.

Os requisitos apresentados permitem a definição de pacotes de trabalho com qualidade, o que protege a produção contra a incerteza e contribui para a melhoria da produtividade das equipes de produção.

As principais atividades desenvolvidas nesta etapa são as seguintes (BERNARDES, 2017; COSTA, 2005; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000):

- a) Coleta de informações: as informações necessárias para elaborar o plano de curto prazo são provenientes dos planos de médio prazo e curto prazo controlado no ciclo anterior;
- b) Elaboração do plano de curto prazo: devem ser considerados os requisitos de qualidade para proteção da produção descritos por Ballard e Howell (1997) apresentados anteriormente. Deve ser elaborada uma proposta de plano de curto prazo apresentada e discutida em reunião entre o engenheiro, mestre de obra, encarregado, sub-empregados e chefes de equipes de produção. Nessa reunião também deve ser analisado o plano de curto prazo controlado no ciclo anterior, o que possibilita que se identifiquem as causas pelas quais as metas possam

não ter sido atingidas. Para elaboração deste plano pode ser utilizada a ferramenta *last planner*¹³;

- c) Difusão do plano de curto prazo: consiste na divulgação do plano para todos os envolvidos no processo de produção. Também devem ser divulgadas as avaliações periódicas provenientes dos indicadores de desempenho utilizados no processo;
- d) Alocação de recursos classe 1, 2 e 3: devem ser alocados todos os recursos necessários nos postos de trabalho nos quais eles serão utilizados nas datas previstas no plano de curto prazo;
- e) Execução da obra: consiste na execução diária da obra com base nas diretrizes especificadas no processo de planejamento. Devem ser coletados indicadores de desempenho da produção, o que confere mais transparência e visibilidade ao processo de análise de desempenho do PCP.

A elaboração do planejamento de curto prazo é da responsabilidade do engenheiro da obra com o auxílio do mestre de obras ou encarregado (BERNARDES, 2017).

Normalmente o plano a curto prazo é realizado em ciclos semanais, no entanto, em obras muito rápidas ou com muita incerteza associada ao processo de produção, o planejamento pode ser realizado diariamente (BERNARDES, 2017; ISATTO et al., 2000; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001).

O planejamento de curto prazo constitui o último nível de decisão e evita a tomada de decisão no canteiro da obra, por vezes realizada pelos encarregados ou chefes de equipes sobre pressão de tempo, com reduzida visão global do processo e que na maioria das vezes soluciona um problema mas origina outros (POLITO, 2015).

¹³ O sistema *last planner* (último planejador) faz alusão a quem em última instância define as tarefas a serem executadas no curto prazo (MOURA, 2008). Foi desenvolvido por Ballard e Howell em 1998 e consiste numa filosofia que visa melhorar o desempenho do PCP através de medidas que protejam a produção contra os efeitos da incerteza. O principal objetivo é formalizar o plano de curto prazo, de forma a avaliar a eficácia do planejamento operacional e registrar as causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho planejados (ISATTO et al., 2000).

3.4.2.4 Avaliação do processo de planejamento e controle da produção

No final da obra deve ser realizada a avaliação do processo de PCP com o objetivo de se proporem melhorias para empreendimentos futuros, ou até para a própria obra caso esta tenha um longo período de execução. A avaliação pode ser realizada a partir da percepção dos principais intervenientes no processo ou com base em relatórios de controle elaborados ao longo da execução da obra (BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000; POLITO, 2015). A coleta de informações durante a obra também gera um conjunto de indicadores de desempenho que visam a avaliação da obra. A avaliação do processo é constituída pelas seguintes etapas:

- a) Identificação de problemas: nesta etapa é feita a identificação dos problemas que ocorreram durante a obra. Pode-se realizar uma reunião com todos os participantes do processo de produção, como diretor técnico, engenheiro, mestre de obras, encarregados, subempreiteiros e principais fornecedores de materiais, com o objetivo de discutir os principais resultados alcançados, as dificuldades encontradas e as sugestões de melhoria (BERNARDES, 2017; COSTA, 2005; FORMOSO et al., 2001; ISATTO et al., 2000). Também podem ser convidados representantes do cliente, uma vez que este constitui um interveniente importante no processo de avaliação (COSTA, 2005; FORMOSO et al., 2001);
- b) Desenvolvimento de alternativas: com base nos problemas identificados devem ser desenvolvidas alternativas a serem implementadas nos próximos empreendimentos ou nas próximas fases de obra caso esta não tenha sido concluída (BERNARDES, 2017). Estas alternativas visam implementar um dos princípios da *lean construction*, a melhoria contínua do processo, evitando que ocorra repetição de erros semelhantes que levam a perdas¹⁴.

¹⁴ O conceito de perdas neste trabalho é abrangente, não se restringe apenas às perdas materiais e está associado ao conceito de agregar valor. Ou seja, é considerada a eficiência na utilização de todos os recursos, como equipamentos, materiais, mão de obra e capital.

Em suma, verifica-se que o processo de planejamento e controle da produção possui vários ciclos de retroalimentação, onde são realizadas avaliações no planejamento e na produção que visam detectar a ocorrência de problemas. Para proceder a estas avaliações é necessária a implementação de um grupo de indicadores de desempenho que auxiliem no processo de tomada de decisão. A implementação de um sistema de medição de desempenho do processo através um conjunto de indicadores, possibilita a avaliação quantitativa do processo global e auxilia nas ações de melhoria contínua. Em seguida serão abordados os conceitos relativos a este tema.

3.5 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO ATRAVÉS DE SISTEMA DE INDICADORES

A medição de desempenho de uma organização é essencial para gestão da qualidade, fornecendo aos responsáveis as informações necessárias para a tomada de decisão e para o desenvolvimento de ações de melhoria da qualidade e produtividade da empresa (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). A medição de desempenho pode ser considerada um elemento integrante do ciclo de planejamento e controle da produção, e desta forma, não deve ser utilizada apenas para relatar o passado, mas para fazer a gestão do planejamento em empreendimentos futuros, possibilitando o monitoramento e controle dos objetivos e metas estratégicas. Além disso, a medição de desempenho também deve ser utilizada para orientar uma visão estratégica empresarial objetivando a sua viabilidade futura (CROWTHER, 1996).

Apesar da importância dos sistemas de medição de desempenho, muitas empresas não possuem estes sistemas, ou quando possuem eles apresentam graves deficiências (COSTA, 2005; NEELY et al., 1997), principalmente devido à dificuldade das empresas em definir o que medir e como medir (COSTA, 2005; NEELY, 1999).

Algumas empresas utilizam sistemas de medição tradicionais que têm enfoque em indicadores de caráter contábil e que mostram apenas resultados das ações realizadas, sem visão estratégica e que não conferem aos responsáveis capacidade de resposta e flexibilidade para solucionar problemas. Estes indicadores também não proporcionam informações sobre as necessidades dos clientes e sobre o desempenho das empresas concorrentes (NEELY, 1999).

Outro problema recorrente, é a dificuldade em selecionar os indicadores de desempenho mais adequados aos objetivos estratégicos e aos fatores críticos da empresa e da obra, o que dificulta a sua inserção nos processos gerenciais da organização (COSTA, 2003).

A existência de barreiras comportamentais dentro das organizações referentes à forma de pensar e agir da gerência, que tende a tomar decisões baseadas em intuição, impulso e experiência, também dificulta a implementação de sistemas de medição de desempenho (SINK; TUTTLE, 1993). Além disso, segundo os mesmos autores, em algumas organizações a medição de desempenho é considerada como um mecanismo de controle e punição, utilizada para identificar as pessoas com menor produtividade ou desempenho, o que aumenta a resistência para a coleta, processamento e análise dos dados.

De forma a tentar solucionar estes problemas e barreiras têm sido realizados diversos esforços voltados para o desenvolvimento de propostas para implementar sistemas de medição de desempenho mais eficazes e simples, que possam ser facilmente utilizados em empresas de construção como uma prática sistemática. Além disso, esses sistemas de medição deverão ser mais adequados às novas exigências dos clientes que passaram a exigir produtos de maior qualidade e menor prazo de entrega. Nas empresas também deve ser criada uma cultura que identifique a medição como uma oportunidade de melhoria organizacional.

Na norma NBR ISO 9001 está previsto que a medição de desempenho dentro de uma organização deve realizar as seguintes ações (ABNT, 2015b):

- a) Medir e monitorar informações sobre a percepção do cliente relativas ao atendimento dos requisitos do mesmo;
- b) Realizar auditorias internas para verificar a conformidade do sistema de gestão;
- c) Demonstrar a capacidade dos processos identificados no sistema de gestão de qualidade em atingir os resultados definidos;
- d) Medir e monitorar as características dos produtos obtidos por forma a verificar se os seus requisitos têm sido atendidos.

Indicadores podem ser definidos como expressões quantitativas que representam uma informação gerada a partir da medição e avaliação dos processos

que compõem um sistema de produção e/ou dos produtos resultantes. Um indicador denomina-se de desempenho quando se refere a um resultado atingido por um processo ou característica de um produto final, uma vez que representa o comportamento do processo ou produto face a determinadas variáveis (SOUZA; ABIKO, 1997). A avaliação do comportamento ou tendência do indicador constitui um instrumento de apoio à tomada de decisão relativamente a uma determinada organização, processo ou produto.

Os indicadores permitem a quantificação de características de produtos ou processos e são utilizados para acompanhar e aperfeiçoar os resultados ao longo do tempo, devendo estar associados a uma frequência de medições. Uma vez que os indicadores são uma função do tempo, os mesmos podem ser utilizados para rodar o ciclo PDCA¹⁵ (LUSTOSA et al., 2008).

Os indicadores de desempenho podem ser agrupados em indicadores de qualidade e produtividade (COSTA et al., 2005; LANTELME, 1994; SOUZA; ABIKO, 1997). Indicadores de qualidade medem o desempenho de um produto ou serviço, referente ao atendimento das necessidades dos clientes externos e internos, ou seja, referem-se à eficácia da empresa. Indicadores de produtividade medem o desempenho do processo, através de relações entre recursos utilizados e os resultados atingidos, ou seja, medem a eficiência do processo na obtenção dos resultados esperados. No entanto, Lantelme (1994), afirma que na prática não devem ser feitas distinções rígidas entre esses indicadores, uma vez que o conceito mais amplo de qualidade pode englobar a melhoria da produtividade.

A seleção de indicadores de desempenho deve atender um conjunto de requisitos básicos (PBQP¹⁶, 1991 apud AMBROZEWICZ, 2003):

- a) Seletividade: os indicadores devem estar relacionados a aspectos, etapas e resultados importantes ou críticos do processo. A implementação de um número excessivo de indicadores dificulta a coleta de informações e conduz à interrupção do acompanhamento;
- b) Representatividade: os indicadores devem representar adequadamente o processo a que se referem, de forma a poderem orientar a tomada de decisão;

¹⁵ O ciclo PDCA é composto por 4 etapas básicas sequenciais, que são: planejar (*Plan* – P), executar (*Do* – D), verificar (*Check* – C) e agir corretivamente (*Action* – A) e será abordado e descrito na seção 3.6.1.

¹⁶ Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade.

- c) Estabilidade: devem ser coletados com base em procedimentos de rotina incorporados nas atividades das empresas. Essa estabilidade permite avaliar a evolução do processo ao longo do tempo;
- d) Simplicidade: os indicadores devem ser de fácil entendimento e aplicação, usando formulações relativamente simples. Coletas de dados e fórmulas demasiado complexas desmotivam os responsáveis e inviabilizam economicamente o acompanhamento do processo;
- e) Baixo custo: a coleta, processamento e avaliação das informações não pode apresentar custo superior ao benefício obtido pela medida;
- f) Acessibilidade: os dados a serem coletados devem ser de fácil acesso, caso contrário os responsáveis pela obtenção dos mesmos podem abandonar a coleta e interromper o acompanhamento do processo;
- g) Rastreabilidade: os dados, informações, formulários, memórias de cálculo e responsáveis envolvidos devem ficar devidamente documentados e armazenados. Este procedimento facilita a confirmação dos resultados e permite que outras pessoas possam efetuar as coletas e cálculos;
- h) Abordagem experimental: os indicadores devem ser inicialmente testados e caso não se mostrem importantes e eficazes ao longo do tempo devem ser alterados ou substituídos. Esta abordagem promove a persistência na utilização de indicadores.

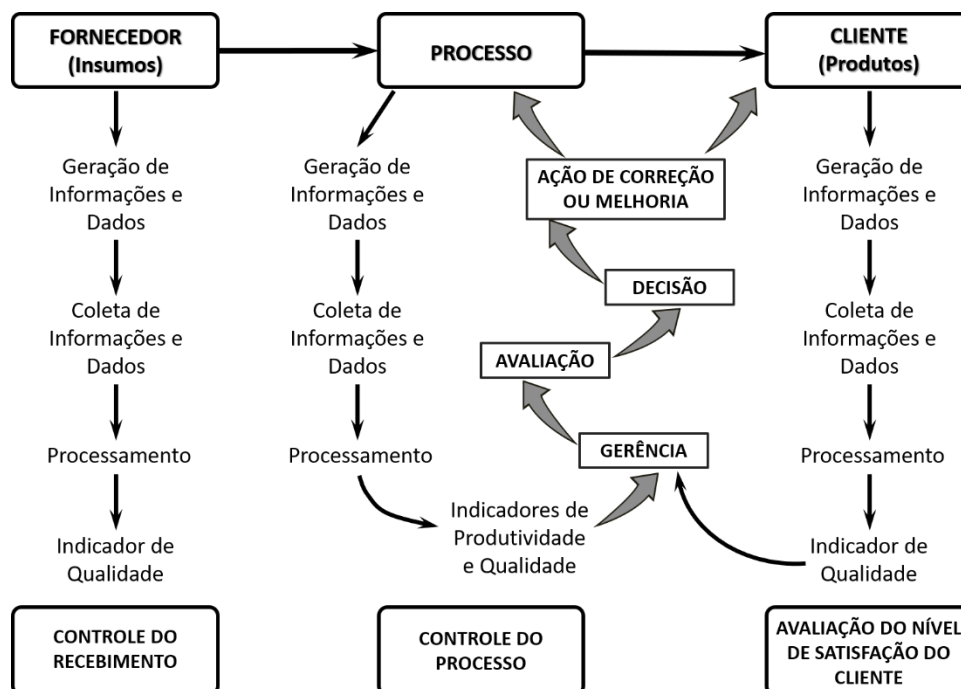
Após seleção dos indicadores de desempenho segue-se o processo de implementação dos mesmos. Neste processo é importante definir o fluxo de informações, começando pela identificação do responsável pela coleta, processamento e análise dos dados, até quem necessita das informações para a tomada de decisão (BOURNE et al., 2000; COSTA et al., 2005).

Antes da implementação do processo de medição de desempenho deve ser realizado o treinamento dos responsáveis pela coleta e processamento das informações, instituindo na empresa uma cultura para a medição. A medição propriamente dita inicia pela coleta dos dados necessários para gerar os indicadores. Nesta etapa devem ser identificados quais os dados a coletar, as fontes, procedimentos de coleta, métodos de cálculo e armazenamento, além da necessidade

de novos procedimentos para proceder a essa coleta. Posteriormente deve ser realizado o processamento dos mesmos, através da seleção de técnicas, ferramentas e métodos de conversão dos dados em informações. Por fim, as informações devem ser alvo de avaliação tendo em vista a finalidade das mesmas (LANTELME, 1994). Com base nas informações e resultados obtidos pelo sistema de indicadores de desempenho, podem ser desenvolvidos mecanismos de revisão e atualização das estratégias e metas da organização (BOURNE et al., 2000), bem como a revisão do próprio sistema de medição através de um retorno dos seus usuários (LANTELME, 1994).

Os indicadores de desempenho podem ser processados e gerados nas diversas fases do sistema de produção como se pode observar na Figura 13. Em relação aos fornecedores podem ser geradas informações para avaliação da qualidade dos materiais fornecidos. No processo são gerados indicadores de produtividade e qualidade que auxiliam no controle do processo e que podem fornecer informações que resultam em ações de correção ou melhoria. No que diz respeito ao cliente são gerados indicadores de qualidade do produto ou serviço, que avaliam a satisfação do mesmo, e que por sua vez também podem resultar em ações de correção e melhoria.

Figura 13 - Implementação de sistema de indicadores de desempenho no sistema de produção.



Como se pode verificar a implementação de um sistema de indicadores tem impacto sobre toda a estrutura da organização, e por isso as metas definidas devem ser específicas, mensuráveis, realistas, desafiadoras, práticas, diretas (sem cálculos demasiado complexos), adequadas, confiáveis, terem prazos determinados e fazerem parte do ciclo de monitoramento e controle (POLITO, 2015).

Além disso, a implementação de um sistema de indicadores de desempenho promove a avaliação comparativa com valores de referência de outras empresas no mercado através do processo de *benchmarking*.

3.5.1 Principais indicadores de desempenho

Existem vários indicadores de desempenho e controle da produção citados na literatura que podem ser utilizados na medição e gestão do processo produtivo. Devido a essa vasta quantidade de indicadores impossibilitar a apresentação de todos, foram selecionados para apresentação aqueles de maior importância, por sua ampla utilização no setor da construção e por se enquadrarem no âmbito desta tese (por exemplo, indicadores de perda de concreto, tubulações, azulejo, entre outros não foram selecionados).

3.5.1.1 Percentual de Planejamento Concluído

O principal indicador do processo de planejamento e controle da produção é o Percentual de Planejamento Concluído¹⁷ (PPC) (BERNARDES, 2017; COSTA, 2003; GRENHO, 2009; KOSKELA, 2000; MOURA, 2008). Este indicador mede a eficácia do processo de planejamento (BERNARDES, 2017; MOURA, 2008), e pode ser considerado uma medida da confiabilidade do plano de curto prazo, uma vez que mede o grau com que as tarefas que atendem aos requisitos de qualidade, e que por isso têm grande probabilidade de ser concluídas, estão a ser incluídas nesse plano (BALLARD; HOWELL, 1994).

O PPC é utilizado na implementação da ferramenta *last planner* de planejamento de curto prazo e tem ênfase na redução do risco de propagação da

¹⁷ Também denominado como Percentual de Pacotes Concluídos, Percentual de Planos Concluídos ou Percentual da Programação Concluída.

variabilidade para fluxos e tarefas subsequentes (KOSKELA, 1999). É calculado através da Equação 1.

$$PPC = \frac{\text{Número de pacotes de trabalho 100\% concluídos}}{\text{Número de pacotes de trabalho planejados}} \times 100 \quad (1)$$

Pode ser coletado ao longo de toda a obra ou em períodos definidos pela empresa em função da fase e do ritmo de execução da obra.

Resultados inferiores a 100% representam falhas no processo de planejamento e controle da produção, no entanto mesmo quando este valor de eficácia é atingido não significa que a produção apresente a eficiência ótima. Isso acontece uma vez que este indicador não representa a eficiência com que as tarefas foram realizadas, ou seja, se houve uma utilização racional dos recursos. Desta forma, deve ser feita uma análise crítica qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos, quanto à performance e eficiência do trabalho e da organização dos recursos (CHITLA, 2003).

Devido à sua alta disseminação, trabalhos realizados em diversos países (Finlândia, Brasil, Reino Unido, Chile e Colômbia) apresentam valores de referência para o PPC na indústria da construção, que são variáveis entre 63,0% e 75,5% (MOURA, 2008).

Também pode ser aplicado para verificar o percentual de planejamento concluído por subempreiteiro.

3.5.1.2 Causas de não cumprimento

Visa identificar as razões pelas quais as metas planejadas não foram atingidas (BERNARDES, 2017; COSTA et al., 2005; MOURA, 2008). Este indicador está associado ao PPC, ou seja, quando se coletam as informações desse indicador devem ser identificadas as causas pelas quais os pacotes de trabalho não foram concluídos.

Possibilita a tomada de ações corretivas para evitar a sua recorrência e melhorar os resultados.

3.5.1.3 Desvio do custo da obra

Tem como objetivo avaliar o desempenho da obra finalizada, através da relação entre o custo orçado e o custo efetivo. Como custo efetivo é entendido o custo real de execução da obra considerando serviços e materiais utilizados, enquanto que o custo orçado é obtido a partir do orçamento discriminado da obra que consta no contrato (COSTA et al., 2005). É calculado através da Equação 2.

$$DC = \frac{\text{Custo real} - \text{Custo orçado}}{\text{Custo orçado}} \times 100 \quad (2)$$

Este indicador sinaliza se a obra tem custos acima (resultado positivo) ou abaixo (resultado negativo) em relação ao valor planejado. Este indicador deve ser analisado em conjunto com indicadores de custo parciais da obra.

Apesar da sua grande importância, os indicadores de custo têm algumas limitações uma vez que podem não refletir a realidade da obra. Segundo Turner (2009), indicadores de custo mostram apenas a relação entre o que foi gasto e o que estava planejado gastar num determinado período, e não indicam se o trabalho previsto para esse valor gasto foi efetivamente realizado. Para aprimorar estes indicadores de custo pode ser utilizada a técnica de gestão do valor agregado, representada graficamente através de curvas-S. Esta técnica considera as diferenças entre o custo orçado e o custo real em relação ao que foi produzido. A técnica de gestão do valor agregado (GVA) será abordada na seção 3.6.4 desta tese.

3.5.1.4 Desvio do prazo da obra

Tem como objetivo avaliar o desempenho da obra finalizada, através da relação entre o prazo previsto no planejamento de longo prazo e o prazo efetivo. Como prazo efetivo é entendido o prazo real de execução da obra, ou seja o tempo entre a mobilização contínua dos trabalhadores no canteiro e a desmobilização desses trabalhadores no término da obra (COSTA et al., 2005). É calculado através da Equação 3.

$$DP = \frac{\text{Prazo real} - \text{Prazo previsto}}{\text{Prazo previsto}} \times 100 \quad (3)$$

Este indicador mostra o tempo que a obra está atrasada (resultado positivo) ou adiantada (resultado negativo) em relação ao planejado. Este indicador deve ser analisado em conjunto com indicadores de prazo parciais da obra.

Através das mesmas curvas-S de gestão do valor agregado podem ser extraídas informações parciais referentes aos valores de prazo real e previsto (TURNER, 2009).

3.5.1.5 Percentual de atividades iniciadas no prazo

Tem como objetivo indicar a percentagem de atividades que tiveram início no prazo planejado em relação ao número total de tarefas programadas. Este indicador permite avaliar a consistência entre o plano de médio e curto prazo, ou seja, pode ser verificada a correspondência entre o início das atividades planejadas no médio prazo e as tarefas programadas no plano de curto prazo. Para realizar este cálculo é necessário haver um plano semanal, uma vez que as tarefas iniciadas no prazo são identificadas através do plano de curto prazo (FORMOSO et al., 2001; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 4.

$$PAIP = \frac{A_{ip}}{A_{tot}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A_{ip} é a quantidade de tarefas programadas a médio prazo que foram incluídas no planejamento a curto prazo e iniciadas no tempo previsto.

A_{tot} é a quantidade total de atividades programadas a médio prazo para esse período.

Deve ser analisado juntamente com os dados das planilhas de causas de não cumprimento dos planos. Pode ser coletado do início ao fim da obra, ou em períodos preestabelecidos pela empresa, em função da fase e do ritmo de execução da obra.

3.5.1.6 Percentual de atividades completadas na duração prevista

Tem como objetivo identificar a percentagem de atividades concluídas na duração prevista em relação ao número total de tarefas programadas para esse período. Avalia a eficácia do planejamento de médio prazo através do grau de acerto da duração das atividades programadas (BERNARDES, 2017; FORMOSO et al., 2001). É calculado através da Equação 5.

$$PADP = \frac{A_{cdp}}{A_{tot}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

A_{cdp} é a quantidade de tarefas programadas a médio prazo cumpridas na duração prevista.

A_{tot} é a quantidade total de atividades programadas a médio prazo para esse período.

Deve ser analisado juntamente com os dados das planilhas de causas de não cumprimento dos planos. Pode ser coletado do início ao fim da obra, ou em períodos preestabelecidos pela empresa, em função da fase e do ritmo de execução da obra.

3.5.1.7 Projeção de atraso da obra

Tem como objetivo a realização de uma projeção da obra baseado no atraso ou adiantamento e nos ritmos atuais das atividades em execução. Pode ser coletado durante o andamento de toda a obra e é analisado durante as revisões do planejamento de longo prazo (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 6.

$$PA = \frac{(\sum S_{at} D_t - \sum S_{ad} D_t)}{(\sum D_t)} \quad (6)$$

Onde:

S_{at} é o número de semanas atrasadas de uma tarefa, ou seja, o tempo entre a data planejada da execução da atividade e a data efetiva de execução da mesma.

S_{ad} é o número de semana antecipadas de uma tarefa, ou seja, o tempo entre a data planejada da execução da atividade e a data efetiva de execução da mesma (antecipada em relação ao planejado).

D_t é a duração total da atividade, ou seja, o tempo total de duração de uma atividade, conforme especificado no planejamento.

Este indicador mostra o tempo que a obra está atrasada (resultado positivo) ou adiantada (resultado negativo) em relação ao planejado. Resultados próximos de zero significam que a obra está a ser executada de acordo com o previsto.

3.5.1.8 Percentual de atividades no ritmo planejado

Visa identificar possíveis atrasos das atividades em relação ao planejado devido à queda de ritmo da obra ou de uma atividade. Pode ser coletado durante o andamento de toda a obra e é analisado durante as revisões do planejamento de longo prazo. O ritmo das atividades pode ser definido como a quantidade de trabalho a ser concluído em determinado período, e deve ser avaliado tanto do ponto de vista de atrasos, como também de antecipações na execução das atividades, uma vez que ambas as situações são normalmente indesejáveis. A primeira aponta a possibilidade de atrasos na entrega da obra, enquanto a segunda pode resultar num fluxo de caixa desfavorável. Devem ser analisados os fatores que ocasionaram o atraso ou adiantamento da tarefa, que é executada através dos dados contidos nas planilhas de causas de não cumprimento dos planos (FORMOSO et al., 2001; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 7.

$$PAR = \frac{A_r}{A_{tot}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

A_r é a quantidade de atividades programadas a médio prazo que foram executadas no ritmo previsto.

A_{tot} é a quantidade total de atividades programadas a médio prazo até à data do cálculo.

O resultado deste indicador descreve, percentualmente, se a atividade está a ser realizada em um ritmo inferior ao planejado (quando o resultado for menor que 100%) ou superior ao planejado (quando o resultado for maior que 100%). Resultados próximos de 100% significam que a obra está a ser executada conforme o prazo previsto. Normalmente a sua periodicidade de coleta é mensal.

3.5.1.9 Produtividade por serviços

O objetivo deste indicador é a obtenção de índices de produtividade da mão de obra da empresa que possam ser utilizados para o orçamento e a programação de obras, considerando as particularidades dos procedimentos utilizados e dos operários envolvidos (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). Além disso, a medição da produtividade por serviços também pode ser usada, de uma forma eficaz, para avaliação e melhoria dos processos de execução dos serviços e fornecer informações para racionalização do trabalho, treinamento e motivação do pessoal, avaliação de um novo método de trabalho, entre outros fatores (LANTELME, 1994). É calculado através da Equação 8.

$$I_{prod} = \frac{HH}{Q_{ser}} \quad (8)$$

Onde:

HH é o número total de horas trabalhadas para execução do serviço ou parte dele. Devem ser consideradas as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço.

Q_{ser} é a quantidade de serviço produzida seguindo o especificado em projeto.

Normalmente, quanto menor o resultado do indicador melhor a produtividade, mas esses resultados dependem da especificidade de cada serviço. Existem diversos fatores que podem afetar a produtividade, como por exemplo, a organização do canteiro de obras, as condições de trabalho, tipo de equipamentos utilizados, existência de procedimentos de execução dos serviços bem definidos, número de interferências entre diferentes serviços, cumprimento das datas de entrega de materiais na obra, experiência da mão de obra, absenteísmo, entre outros.

Pode ser coletado durante toda a obra, em períodos ou etapas da obra que sejam representativos. As medições e a coleta dos dados devem ser efetuadas sempre sobre uma equipe, e nunca individualmente, uma vez que a variabilidade da produtividade individual pode ser muito alta.

3.5.1.10 Produtividade global da obra

O objetivo deste indicador é a avaliação do desempenho global da obra e obtenção de dados para elaboração do planejamento de longo prazo, considerando os processos produtivos da empresa (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 9.

$$I_{prodglobal} = \frac{HH}{A_{real}} \quad (9)$$

Onde:

HH é o número total de horas trabalhadas para execução de toda a obra.

A_{real} é a soma de todas as áreas referentes à obra.

Deve ser coletado no final da obra por meio de levantamentos das horas de todos os funcionários da obra registradas nos diários da obra. A utilização deste indicador no nível estratégico, apresenta um conjunto de informações agregadas e auxilia na análise das obras que utilizam diferentes técnicas construtivas ou estratégias de produção (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001).

3.5.1.11 Índice de absenteísmo

Tem como objetivo verificar a percentagem de faltas de todos os funcionários em relação ao período de trabalho (COSTA, 2003; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 10.

$$IA = \frac{NF}{(ND \times EM) \times 100} \quad (10)$$

Onde:

NF é o número de faltas de todos os funcionários no mês.

ND é o número de dias trabalhados do mês.

EM é o número médio de funcionários no mês.

O absenteísmo causa desequilíbrio nas equipes de trabalho, o que pode acarretar na redução na produtividade dos serviços e conseqüentemente atrasos no cronograma da obra. Deve ser calculado mensalmente pelo departamento de recursos humanos. A análise pode ser feita para uma obra específica, mas também de forma global para todos os empreendimentos da empresa.

3.5.1.12 *Índice de erros na entrega dos materiais*

Tem como objetivo avaliar a eficiência e a confiabilidade dos fornecedores e do departamento de compras em relação à entrega de materiais para a obra, nas especificações, quantidades e prazos definidos. Devem ser considerados como materiais irregulares, aqueles lotes com um ou mais materiais entregues com erros ou não conformidades. Como erros são entendidos, falhas na documentação quanto à quantidade e especificação de itens que dificultem a sua conferência, diferenças entre a quantidade ou especificação do material conforme a ordem de compra e o material entregue na obra, e lotes entregues em períodos superiores ao planejado ou fora da data prevista (COSTA, 2003; FORMOSO et al., 2001; LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 11.

$$Iem = \frac{\sum NE}{\sum NL} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

NE corresponde ao número de lotes de materiais entregues irregularmente.

NL corresponde ao número total de lotes entregues.

Quando existir um número elevado de lotes de materiais irregulares entregues na obra deve ser realizada uma avaliação que vise verificar a origem desses problemas, uma vez que essa situação pode causar atrasos na execução das tarefas.

Falhas na entrega podem ser causadas por erros no preenchimento da documentação de compras, no processo de comunicação ou erros por parte dos fornecedores. Analisando estes dados juntamente com as causas de não cumprimento do plano de curto prazo, é possível avaliar se a falta de recursos é devida a problemas internos da empresa (por exemplo, demora na solicitação de compra dos materiais ou no processo de compra, especificações erradas), ou se tem origem no fornecedor (por exemplo, atrasos na entrega dos materiais em obra) (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001).

Este indicador pode ser coletado durante toda a obra, e a sua periodicidade é relacionada ao ciclo de revisão do plano de médio prazo, geralmente mensal.

3.5.1.13 Indicador de retrabalho

O indicador de retrabalho visa medir as horas realizadas com serviços de retrabalho para correção de erros, omissões no projeto ou mudanças nos serviços programados. Os retrabalhos são responsáveis por perdas na produtividade e desperdício de materiais (LANTELME; TZORZOPOULOS; FORMOSO, 2001). É calculado através da Equação 12.

$$IR = \sum \text{Retrabalho} \quad (12)$$

Para analisar o resultado deste indicador é necessária a consideração das causas que geraram os retrabalhos e posteriormente devem ser definidas ações corretivas no processo para eliminar ou diminuir essas causas.

Pode ser coletado durante toda a obra, em períodos ou etapas que sejam representativos ou no final da obra.

3.5.1.14 Indicador de não conformidade

Tem como objetivo avaliar a conformidade dos serviços ou produtos com base em listas de verificação de serviços críticos, bem como, identificar as causas de não conformidade.

A conferência deve ser realizada a partir de listas de verificação de serviços considerados críticos ou pertinentes pela empresa. Essa verificação deve ser feita por medição e execução de serviço (COSTA, 2003; COSTA et al., 2005). É calculado através da Equação 13.

$$INC = \frac{\sum N_{NC}}{\sum N_V} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

N_{NC} é o número de não conformidades encontradas.

N_V é o número de verificações efetuadas.

A avaliação deste indicador pode indicar que os principais problemas identificados estão relacionados com falhas no processo produtivo e por isso a avaliação deve ser rigorosa de forma a melhorar a qualidade dos serviços. Pode ser coletado no final da obra antes da entrega para o cliente ou mensalmente.

3.5.1.15 Indicador de satisfação do cliente

O objetivo deste indicador é conhecer a opinião do cliente sobre a qualidade dos serviços prestados pela empresa, com a identificação de falhas e sucessos no desempenho da obra (COSTA, 2003). Satisfação do cliente pode ser definida como o resultado obtido quando as características do produto ou serviço prestado atendem às necessidades do cliente (JURAN, 1997). A identificação dos fatores que atendem à satisfação do cliente possibilita a obtenção de vantagens competitivas, uma vez que estes fatores determinam a decisão de compra frente a outros produtos ou serviços disponíveis no mercado por empresas concorrentes (LANTELME, 1994).

Segundo Costa et al. (2005), a avaliação da satisfação do cliente deve ser feita através da aplicação de um questionário, no qual o cliente assinala o seu nível de satisfação nos diferentes itens listados. O questionário é dividido em duas partes: A - relacionamento com o cliente e B - serviços técnicos, e constituído por 7 itens principais, que visam a comparação entre empresas. Na Figura 14 pode ser observado um exemplo do questionário aplicado para avaliar a satisfação do cliente.

É calculado através da Equação 14 e dos critérios do Quadro 1, considerando cada um dos 7 itens distribuídos pelas partes A e B do questionário.

$$ISCC_n = \frac{(N_{FI} \times 0) + (N_I \times 3,3) + (N_S \times 6,7) + (N_{FS} \times 10)}{(N_{FI}) + (N_I) + (N_S) + (N_{FS})} \quad (14)$$

Quadro 1 - Descrição dos critérios e variáveis utilizadas para cálculo do indicador.

Variáveis	Crítérios
n	Sub-índice de 1 a 7
N _{FI}	Número de respostas " Fortemente Insatisfeito " para cada um dos 7 itens
N _I	Número de respostas " Insatisfeito " para cada um dos 7 itens
N _S	Número de respostas " Satisfeito " para cada um dos 7 itens
N _{FS}	Número de respostas " Fortemente Satisfeito " para cada um dos 7 itens

Fonte: (COSTA et al., 2005).

Figura 14 - Exemplo de questionário aplicado para avaliar a satisfação do cliente.

A - RELACIONAMENTO COM O CLIENTE - Como classifica o relacionamento com o cliente em relação aos seguintes aspectos:	FI	I	S	FS	NA
1. Cortesia: Demonstrou amabilidade no tratamento dos clientes					
2. Comunicação: Explicações aos clientes em linguagem clara					
3. Credibilidade: A empresa cumpre o prometido e é confiável					
4. Empenho na identificação e atendimento das exigências especificadas do cliente					
5. Flexibilidade no atendimento das exigências do cliente					
B - SERVIÇOS TÉCNICOS - Como classifica o relacionamento com o cliente em relação aos seguintes aspectos:	FI	I	S	FS	NA
6. Competência:					
6.1 Capacidade gerencial: demonstra conhecimento dos serviços na execução da obra					
6.2 Capacidade de propor soluções técnicas e/ou economicamente mais adequadas					
6.3 Qualidade: os serviços apresentam a qualidade desejada					
6.4 Prazo: os prazos estabelecidos foram cumpridos					
7. Organização do canteiro:					
7.1 Limpeza e organização					
7.2 Segurança: a obra atende às normas de segurança do trabalho					
7.3 Higiene: as condições de higiene são adequadas					
AVALIAÇÃO GERAL					
8. De forma geral como se sente em relação à empresa	FI	I	S	FS	
9. Contrataria novamente a empresa para realização de novos serviços	SIM		NÃO		

Fonte: (COSTA et al., 2005).

Deve ser feita a avaliação crítica de itens que apresentem grau de insatisfação, de forma a que a empresa possa verificar as causas desses resultados e melhorar o processo. Em relação aos itens que apresentam elevado grau de satisfação é evidenciado que a solução utilizada é adequada e deve ser mantida pela empresa. Pode ser coletado no final da obra após a entrega para o cliente, ou durante a obra.

3.6 FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

Nesta seção são apresentadas e descritas algumas das ferramentas e técnicas de gestão de qualidade frequentemente utilizadas na construção civil, especificamente no processo de planejamento e controle da produção.

3.6.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA ou ciclo de Shewhart¹⁸ é considerada uma das ferramentas de gestão da qualidade de maior importância para o controle de processos e para o desenvolvimento da melhoria contínua nas empresas. Foi introduzido no Japão com o objetivo de tornar mais claros e ágeis os processos de gestão da qualidade nas empresas. A sua utilização continuada e cíclica orienta o processo de tomada de decisão para estabelecimento de metas definindo uma padronização das ações e a resolução de problemas, gerando constantes melhorias na gestão (BERSSANETI; BOUER, 2013; MATTOS, 2010).

O seu escopo de utilização é muito amplo, e segundo a NBR ISO 9001:2015, pode aplicar-se o ciclo PDCA em qualquer parte do processo do sistema de gestão de qualidade. Conforme representado na Figura 15, o ciclo PDCA é composto por 4 etapas básicas sequenciais, que são: planejar (*Plan* – P), executar (*Do* – D), controle (*Check* – C) e agir corretivamente (*Action* – A) (ABNT, 2015b; BERSSANETI; BOUER, 2013; MATTOS, 2010; PMI, 2008; POLITO, 2015; TUBINO, 2009).

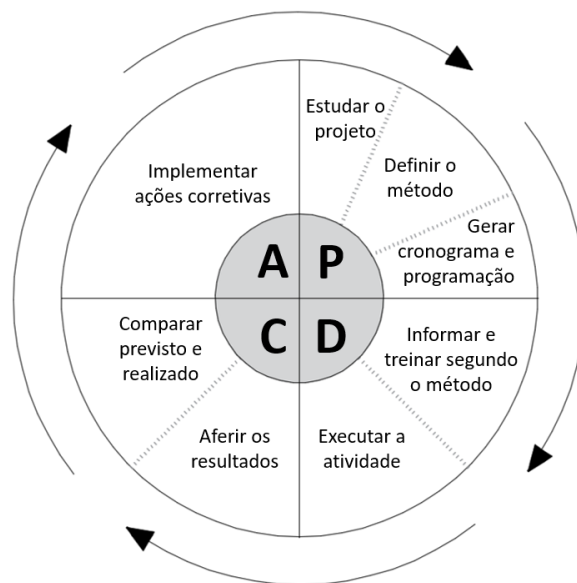
Na etapa de planejamento são estabelecidos os objetivos do sistema, seus processos e recursos necessários para entregar os resultados de acordo com os

¹⁸ Refere-se a Walter Shewhart criador do ciclo PDCA em 1920, e que posteriormente ganhou notoriedade com Edwards Deming em 1950.

requisitos dos clientes e as políticas de gestão da empresa (ABNT, 2015b; MATTOS, 2010). Esta etapa pode ser dividida em três partes:

- a) Estudar o projeto: compreende a análise detalhada do projeto, visita técnica ao local da obra, identificação de possíveis interferências, entre outras;
- b) Definir a metodologia: são escolhidos os métodos construtivos, o plano de ataque à obra, sequência construtiva, logística de materiais e equipamentos, entre outras;
- c) Gerar o cronograma e a programação: consiste na elaboração do cronograma de obra com base nos recursos disponíveis, índices de produtividade, mão de obra, prazos de contrato.

Figura 15 - Representação do ciclo PDCA.



Fonte: (MATTOS, 2010).

Na etapa de execução é implementado o que foi planejado (ABNT, 2015b; MATTOS, 2010). Esta etapa pode ser dividida em duas partes:

- a) Informar e treinar: antes da execução da obra deve-se realizar a formação das equipes de trabalho, no que diz respeito aos métodos construtivos, sequência e duração das atividades, requisitos de qualidade, recursos disponíveis e esclarecimento de outras dúvidas;

- b) Executar a atividade: compreende a execução da obra. Deve ser cumprido o que foi planejado, sem alterações deliberadas por parte dos responsáveis da obra.

Na etapa de controle são monitorados os processos, produtos e serviços resultantes. É feita uma comparação entre o planejado e realizado e são apontadas as diferenças relativamente a prazo, custo e qualidade. (ABNT, 2015b; MATTOS, 2010). Esta etapa pode ser dividida em duas partes:

- a) Aferir os resultados: são coletados os dados e calculados os indicadores de desempenho conforme estabelecido para a empresa;
- b) Comparar previsto e realizado: consiste na avaliação dos resultados coletados e na comparação com o planejamento. São detectados os desvios e seus impactos.

Por fim, na etapa de agir corretivamente são executadas as ações para melhorar o desempenho do processo produtivo (ABNT, 2015b). Com base nos resultados obtidos na terceira etapa, caso sejam identificados desvios em relação ao planejado devem ser implementadas ações corretivas. Além disso, devem ser analisadas as causas dos desvios com a finalidade de prevenção de ocorrência das mesmas causas no futuro.

Terminada a primeira volta do ciclo é reiniciado um novo ciclo, com atualização do planejamento com dados reais obtidos no primeiro ciclo, seguido de execução, controle e implementação de ações. Desta forma, o ciclo PDCA é completado sucessivas vezes até ao final do projeto (MATTOS, 2010).

O ciclo PDCA pode ser empregado para gerenciar as funções de cada interveniente no processo de produção, de forma a garantir o atendimento dos padrões de qualidade estabelecidos. Segundo Mattos (2010), este método se encaixa perfeitamente na construção civil, principalmente devido à grande quantidade de variáveis envolvidas nesta área, como por exemplo, mão de obra, suprimentos, intempéries, interferências, retrabalho e perdas periódicas de produtividade.

3.6.2 Diagrama de Gantt

Uma das ferramentas mais antigas e utilizadas no planejamento e controle da produção é o diagrama Gantt¹⁹, também denominada de cronograma ou gráfico de Gantt. O planejamento e controle da produção deve dispor de um sistema de informações baseado no conceito de capacidade finita²⁰, ou seja, com um gráfico de carregamento de recursos como o gráfico de Gantt (MATTOS, 2010; TUBINO, 2009). Como explicado nos capítulos anteriores, o cronograma de Gantt é especialmente utilizado na elaboração do plano de longo e médio prazo.

O gráfico de Gantt representa, através de um diagrama, o programa de produção de um produto ou serviço, listando todas as atividades da produção no eixo vertical e uma escala de tempo no eixo horizontal. Pela simplicidade de elaboração e interpretação é uma das técnicas mais utilizadas no setor da construção (BERNARDES, 2017; MATTOS, 2010).

Dependendo da forma como é elaborado, o diagrama de Gantt pode representar apenas a duração das atividades, sem mostrar como as mesmas estão vinculadas entre si, o que dificulta a identificação de possíveis atrasos no prazo da obra (BERNARDES, 2017). Neste caso o diagrama de Gantt pode ser elaborado considerando as folgas entre atividades, bem como, a dependência entre as mesmas e o caminho crítico²¹.

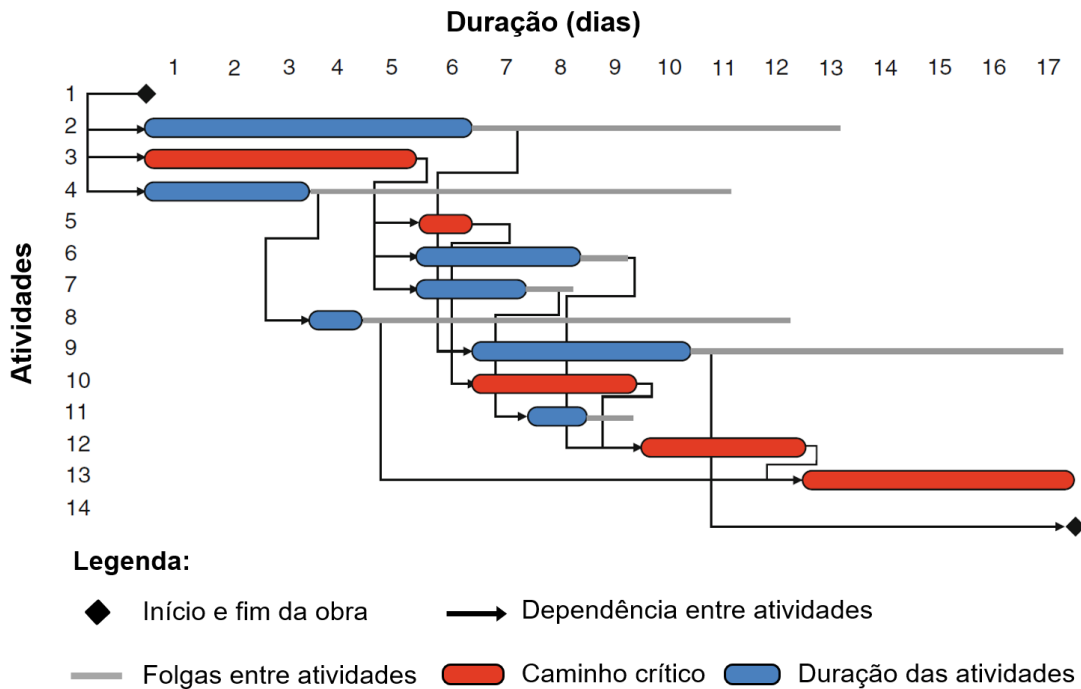
Na Figura 16 é apresentado um exemplo conceitual de um diagrama de Gantt com representação das atividades que compõem uma obra. Com linha cinzenta estão identificadas as folgas das atividades e com linha preta as dependências entre atividades. As barras azuis representam a duração das atividades, enquanto que as barras vermelhas representam a sequência mais longa de atividades, que corresponde ao caminho crítico e como se pode observar não possui folgas associadas. O atraso em uma das atividades do caminho crítico poderá comprometer o prazo de entrega da obra.

¹⁹ Ferramenta desenvolvida por Henry Gantt em 1917 e que foi utilizada inicialmente para controle de produção de atividades de construção de navios cargueiros.

²⁰ Capacidade finita é um sistema de programação que trabalha com base num calendário real de disponibilidade de produção nos recursos, sequenciando ordem por ordem, segundo suas regras, até ao limite de tempo disponível no recurso (TUBINO, 2009).

²¹ Caminho crítico consiste na sequência de atividades que representa o caminho mais longo de um projeto e que tem folga total igual a zero (PMI, 2008).

Figura 16 - Exemplo de um diagrama de Gantt



Fonte: A autora (adaptado de VANHOUCKE, 2013).

O gráfico de Gantt auxilia na análise de diferentes alternativas de sequenciamento da produção, permite calcular o *lead time* produtivo, visualizar as datas de início e conclusão da obra, identificar folgas na produção, caminho crítico e atrasos na produção.

3.6.3 Estrutura Analítica de Partição do Projeto

A Estrutura Analítica de Partição do Projeto (EAP), também denominada *Work Breakdown Structure* (WBS), que em inglês significa estrutura de decomposição do trabalho. A EAP é utilizada na preparação do processo de planejamento e refere-se à decomposição da obra em componentes menores (subsistemas) com definição das hierarquias entre atividades que são decompostas, tornando o processo mais facilmente gerenciável (BERNARDES, 2017; POLITO, 2015). Ou seja, a obra é dividida em atividades principais (ou unidades de controle de serviço), que por sua vez são decompostas em tarefas (ou pacotes de trabalho) que são o nível mais baixo de uma EAP.

Através desta decomposição é possível conhecer o detalhamento das atividades que compõem uma obra, o que permite controlar a evolução das tarefas

em termos de execução física, execução financeira e de atendimento às especificações técnicas (LUSTOSA et al., 2008). Além disso, facilita a alocação de recursos necessários à execução (mão de obra, equipamentos e materiais), torna mais clara a atribuição das responsabilidades e facilita o monitoramento e controle da produção (POLITO, 2015). Segundo o mesmo autor, a EAP deve conter a totalidade do escopo e a omissão de algum pacote de trabalho poderá assumir proporções enormes no futuro.

A utilização da EAP tem como principais vantagens facilitar o planejamento e a orçamentação, evitar que uma atividade seja criada em duplicidade, proporcionar uma matriz de trabalho lógica e organizada, entender o trabalho logo nos estágios iniciais do processo, ajudar no entendimento da relação entre várias tarefas e induzir o pensamento sistêmico do empreendimento como um todo desde o início do planejamento (POLITO, 2015).

Importa salientar que a EAP não representa a sequência executiva ou dependência entre atividades, que são representadas, por exemplo, através do diagrama de Gantt. Para cada obra deve ser desenvolvida uma EAP específica, de acordo com os requisitos e particularidades da mesma (BERNARDES, 2017). De forma complementar à EAP pode ser elaborado um dicionário da EAP que detalha as especificações técnicas e os critérios de aceitação por parte do cliente para cada pacote de trabalho.

3.6.4 Gestão do Valor Agregado

A Gestão do Valor Agregado (GVA) ou *Earned Value Management* (EVM) é uma técnica usada a partir de 1960, quando o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América propuseram um método padrão para medir o desempenho de projetos (VANHOUCKE, 2013). É um método de gestão que integra escopo, recursos e cronograma, para medição e avaliação objetiva do progresso e desempenho do projeto (PMI, 2008, 2011). Tem enfoque na relação entre os custos reais e o trabalho executado num determinado período de tempo, especificamente no desempenho obtido em comparação com o que foi gasto para obtê-lo (FLEMING; KOPPELMAN, 2010).

Valor agregado pode ser definido como a avaliação entre o que foi obtido em relação ao que foi realmente gasto e ao que se planejava gastar, onde se propõe que o valor a ser agregado é o que consta no orçamento para a atividade (VARGAS, 2013).

A técnica de GVA destaca-se por fornecer resultados a partir da integração de dados reais de tempo e custo, proporcionando uma clara noção da situação atual da obra e fazer análises de variância e tendências. Por meio da utilização de indicadores de desempenho, pode-se antever o resultado provável do projeto em termos de custo e prazo. O valor agregado funciona como um alerta, permitindo ao responsável avaliar se a obra apresenta custo superior ao previsto para realizar determinada tarefa, ou se está gastando mais rápido porque o projeto está adiantado (MATTOS, 2010).

O ponto de partida para o desenvolvimento do método de GVA é o cronograma e o orçamento baseados na EAP (POLITO, 2015). O método de GVA pode ser representado graficamente por curvas-S, que agregam cumulativamente as parcelas de trabalho ao longo do tempo. As curvas-S permitem a modelagem da alocação dos recursos e a visualização do progresso de uma obra em relação ao tempo. Como ferramenta de controle devem ser plotadas três curvas, a curva planejada (linha base de desempenho do empreendimento), a curva do progresso real e a curva do valor agregado, e a partir dessas curvas serem realizadas comparações em relação aos custos e prazos (LUSTOSA et al., 2008).

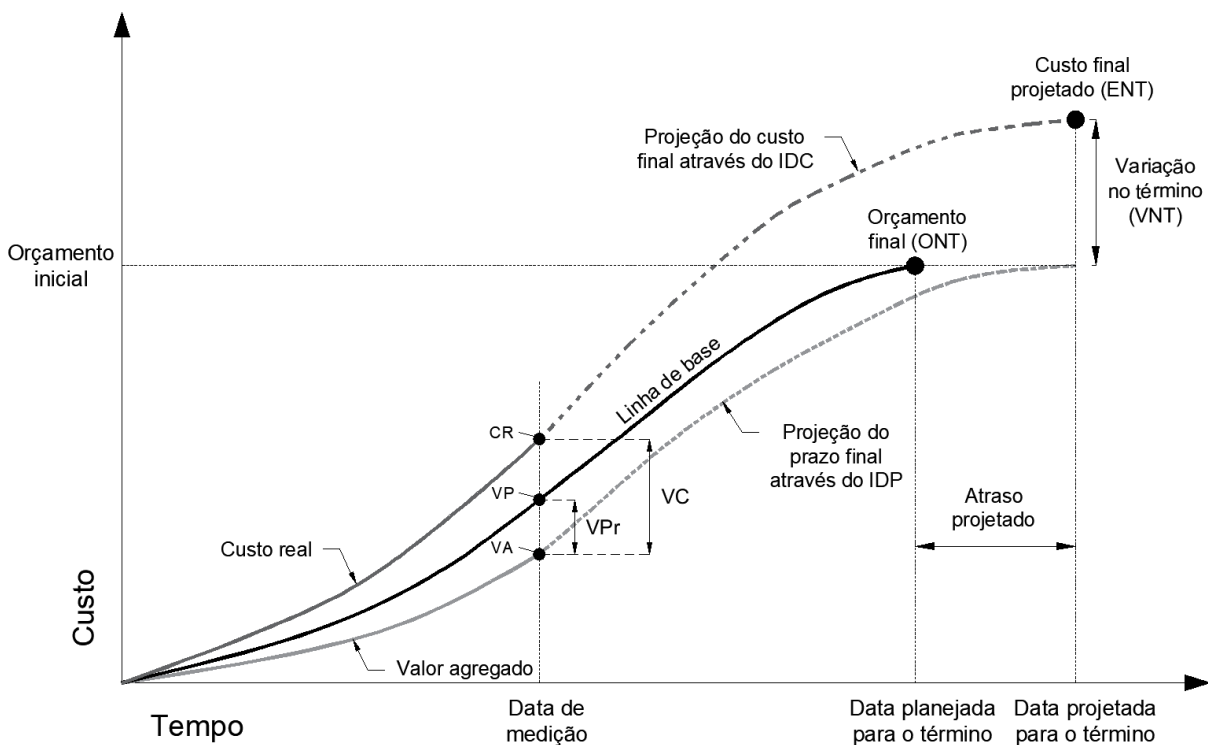
Na Figura 17 pode-se observar a representação gráfica de curvas-S conceituais provenientes do método de GVA que constituem o tripé de comparação de custos e prazos. Os três elementos básicos da análise são os seguintes (PMI, 2008; POLITO, 2015; VARGAS, 2013):

- a) Valor planejado (VP): representa o orçamento autorizado para o trabalho a ser executado para uma atividade ou componente da EAP. O total do VP é denominado linha de base da medição do desempenho. O valor total planejado para o projeto (orçamento final) também é denominado como orçamento no término (ONT);
- b) Valor agregado (VA): é o valor que indica a parcela do orçamento que deveria ser gasta no trabalho realizado até certo momento considerando o custo da linha de base para a atividade. O VA medido não pode ser maior que o orçamento VP para uma atividade. O termo VA é

frequentemente utilizado para descrever a percentagem completa de um projeto;

- c) Custo real (CR): representa o custo total decorrente e registrado na execução de uma atividade. O CR deve considerar tudo o que foi gasto, não tem limite superior e em definição corresponde ao que foi orçado para o VP e medido no VA.

Figura 17 - Representação gráfica de curvas-S conceituais e parâmetros do método de gestão do valor agregado. As curvas tracejadas representam as projeções das tendências dos prazos e custos finais.



Fonte: A autora.

A partir destas três curvas podemos calcular as variações de custo e prazo:

- a) Variação de custo (VC): representa a medida de desempenho dos custos num projeto. É a diferença entre o valor agregado e o custo real ($VC=VA-CR$). A variação de custos da GVA é particularmente crítica porque indica a relação entre o desempenho físico e os custos gastos. Se a VC for negativa (conforme exemplo representado na Figura 17) significa que a atividade está a agregar um valor inferior ao que foi realmente gasto no trabalho e se essa tendência se mantiver o projeto será concluído com um gasto superior ao orçado. Essa VC no final do

projeto (variação no término - VNT) é a diferença entre o orçamento final e a quantia real gasta;

- b) Variação de prazo (VPr): representa a medida de desempenho dos prazos num projeto. É a diferença entre o valor agregado e o valor planejado ($VC=VA-VP$). A variação de prazos da GVA é útil porque indica que o projeto está atrasado em relação à sua linha de base de tempo. Se a VPr for negativa (conforme exemplo representado na Figura 17) significa que a atividade está atrasada.

Os valores de variações de custo e prazo podem ser convertidos em indicadores de eficiência que refletem o desempenho dos custos e dos prazos e que podem ser utilizados para determinar os cálculos parciais de obra conforme indicado na seção 3.5.1:

- a) Índice de desempenho de custos (IDC): é a razão entre o valor agregado e o custo real, e mostra a conversão entre os valores reais consumidos pelo projeto e os valores agregados no mesmo período. É considerado a métrica mais importante da GVA porque mede a eficiência de custos do trabalho executado. Um IDC menor que 1,0 indica um excesso de custo para o trabalho executado. Um IDC maior que 1,0 indica o projeto está a gastar menos que o previsto até à data de medição;
- b) Índice de desempenho de prazo (IDP): é a razão entre o valor agregado e o valor planejado, e mostra a taxa de conversão do valor previsto em valor agregado. Um IDP menor que 1,0 indica que a obra está a ser realizada a uma taxa de conversão menor que a prevista. Um IDP maior que 1,0 indica o projeto está a agregar resultados a uma velocidade superior ao previsto, ou seja, adiantado.

No Quadro 2 é apresentado um resumo dos resultados obtidos com base no cálculo dos índices a partir da gestão do valor agregado.

Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos a partir do cálculo dos índices.

Índice	Valores	Significado
Variação de custo (VC)	VA>CR VC>0	A obra gastou menos que o previsto para realizar o trabalho – abaixo do orçamento
	VA=CR VC=0	A obra gastou exatamente o que estava previsto para realizar o trabalho – no orçamento
	VA<CR VC<0	A obra gastou mais que o previsto para realizar o trabalho – acima do orçamento
Variação de prazo (VP)	VA>VP VPr>0	Foi realizado mais trabalho do que o previsto – projeto adiantado
	VA=VP VPr=0	O trabalho realizado foi exatamente igual ao que havia sido previsto – projeto no prazo
	VA<VP VPr<0	Foi realizado menos trabalho do que o previsto – projeto atrasado
Índice de desempenho de custo (IDC)	VA>CR IDC>1	O custo real foi menor que o orçado para o trabalho realizado – projeto abaixo do orçamento
	VA=CR IDC=1	Até à data, o trabalho foi realizado exatamente com o valor orçado – projeto no orçamento
	VA<CR IDC<1	O trabalho foi realizado a um custo maior que o previsto – projeto acima do orçamento
Índice de desempenho de prazo (IDP)	VA>VP IDP>1	Foi realizado mais trabalho do que o previsto – projeto adiantado
	VA=VP IDP=1	O trabalho realizado foi exatamente igual ao que havia sido previsto – projeto no prazo
	VA<VP IDP<1	Foi realizado menos trabalho do que o previsto – projeto atrasado

Fonte: A autora (adaptado de MATTOS, 2010).

Com base na análise do valor agregado na data de medição pode ser feita uma análise das tendências futuras de custo e prazo para a obra. Podem ser analisadas três tendências distintas para a obra: quanto falta gastar até à conclusão da obra - estimativa para o término (EPT); quanto provavelmente custará a obra – estimativa no término (ENT); e quanto acima ou abaixo do orçamento estará a obra – variação no

término (VNT). Já o orçamento no término (ONT) corresponde ao orçamento final (Figura 17), ou seja, o custo total orçado para a obra.

Segundo Mattos (2010), para calcular a estimativa para o término (EPT), ou seja, quanto falta gastar até à conclusão da obra, podem ser seguidas quatro linhas de raciocínio:

- Baseado no orçamento original (visão otimista): assume-se que o trabalho remanescente será realizado com o custo orçado antes do início da obra, conforme a Equação 15.

$$EPT = ONT - VA \quad (15)$$

- Baseado no desempenho de custos (visão realista): assume-se que o trabalho remanescente será realizado seguindo o padrão de custos atual. Neste caso a projeção é calculada a partir do índice de desempenho de custos (IDC), conforme a Equação 16.

$$EPT = \frac{ONT - VA}{IDC} \quad (16)$$

- Baseado no desempenho de custos e prazo (visão pessimista): assume-se que o trabalho em falta será realizado seguindo o padrão de custos e prazo atual. Neste caso a projeção é calculada a partir do índice de desempenho de custo e de prazo (IDC e IDP), conforme a Equação 17.

$$EPT = \frac{ONT - VA}{IDC \times IDP} \quad (17)$$

- Nova estimativa: faz-se um novo orçamento para o resto da obra sem qualquer vinculação às estimativas feitas anteriormente.

A estimativa no término (ENT) é a previsão que se faz do custo total da obra no seu final. Para estimar quanto custará a obra no término é feito o somatório entre o custo real até à data com o custo estimado para o término (seguindo a mesma linha de raciocínio (visão) utilizada para o cálculo da EPT), conforme a Equação 18.

$$ENT = CR + EPT \quad (18)$$

No caso da variação no término (VNT) que representa quanto acima ou abaixo do orçamento estará a obra no final é calculada a diferença entre o custo total orçado e o custo final projetado no término, conforme a Equação 19.

$$VNT = ONT - ENT \quad (19)$$

No Quadro 3 é apresentado um resumo dos resultados obtidos com base nas estimativas para as tendências da obra.

Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos a partir das estimativas para as tendências futuras da obra.
* Tendência representada na Figura 17.

Valor	Significado
$ONT > ENT \rightarrow VNT > 0$	O custo projetado é inferior ao orçamento total – economia (resultado positivo)
$ONT = ENT \rightarrow VNT = 0$	O custo projetado é igual ao orçamento total – orçamento exato
$ONT < ENT \rightarrow VNT < 0$	O custo projetado é superior ao orçamento total – prejuízo (resultado negativo) *

Fonte: A autora (adaptado de MATTOS, 2010).

Apesar da sua grande importância e utilidade, o método de GVA também apresenta algumas limitações, sendo a principal não mostrar o caminho crítico. Outras limitações são a existência de despesas fixas não associadas diretamente a um dos pacotes de trabalho o que pode afetar o índice de desempenho de prazo, e o fato dos responsáveis pela obra poderem alterar a sequência de trabalho, de forma a aumentar o valor agregado prejudicando a melhor sequência construtiva (POLITO, 2015).

Segundo o mesmo autor, apesar do método de GVA permitir a análise de tendências futuras, devido à grande complexidade dos orçamentos e cronogramas do setor da construção, o método pode não apresentar resultados satisfatórios para essas projeções. Como alternativa o autor sugere a reavaliação conjunta do cronograma, precedências e caminho crítico para equacionar os custos necessários à conclusão da obra.

3.6.5 Técnicas de rede PERT/CPM

Técnicas de rede são muito utilizadas nos sistemas tradicionais de planejamento e controle da produção, como por exemplo a técnica de avaliação e revisão do programa (*Program Evaluation and Review Technique* - PERT) e o método do caminho crítico (*Critical Path Method* – CPM). Como os procedimentos operacionais de composição de redes propostos pelas duas técnicas são semelhantes, tendo diferença apenas na definição da duração das atividades, atualmente os dois métodos são denominados por PERT/CPM²² (BARRA et al., 2013; HILLIER; LIEBERMAN, 2005; MATTOS, 2010; NOGUEIRA, 2016; TUBINO, 2009; VANHOUCKE, 2013). No método PERT a duração das atividades é feita de forma probabilística, enquanto no CPM é realizada de forma determinística (AVILA; JUNGLES, 2013).

O diagrama de rede é a representação gráfica das atividades e a dependência entre elas. Os diagramas PERT/CPM permitem que sejam representadas as relações lógicas de precedência entre as diversas atividades de projeto e que seja representado o caminho crítico, ou seja, a sequência de atividades que não apresenta folgas e se sofrer atraso poderá comprometer o prazo de entrega da obra (BERNARDES, 2017; MATTOS, 2010).

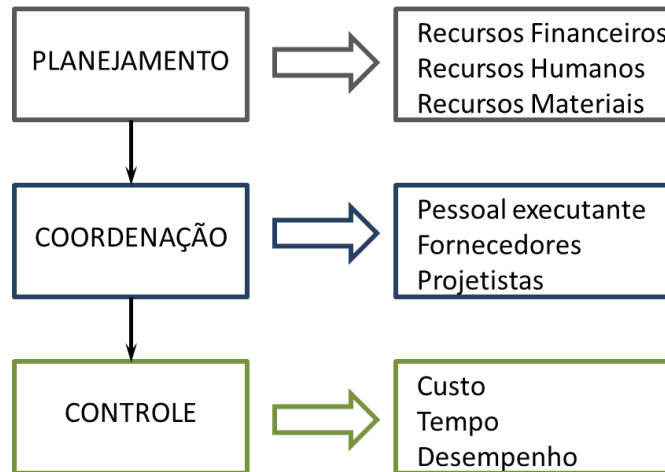
Esta técnica é recomendada para ser aplicada no processo de gestão de projetos, dada a facilidade de integrar e correlacionar as atividades de planejamento, coordenação e controle (AVILA; JUNGLES, 2013; HILLIER; LIEBERMAN, 2005), como representado na Figura 18.

No que diz respeito ao planejamento, o método PERT/CPM facilita a definição das datas de mobilização dos recursos financeiros, humanos e materiais necessários à execução do projeto, bem como, a duração da utilização desses recursos. Como ferramenta de coordenação, a partir da definição das datas de início e fim de cada atividade, pode ser definida a mobilização de cada equipe integrante (executantes, fornecedores e projetistas) necessária à execução do projeto, bem como, as suas responsabilidades e a duração da sua participação. Em relação ao processo de

²² A técnica CPM foi desenvolvida em 1957 pelas empresas DuPont e Remington Rand. Já o método PERT foi desenvolvido em 1958 pela Marinha dos Estados Unidos durante o programa de construção dos mísseis Polaris (VALLE; SILVA; SOARES, 2017). Devido à grande semelhança entre as duas técnicas, elas são normalmente denominadas conjuntamente como técnica PERT/CPM (VANHOUCKE, 2013).

controle, possibilita comparar os tempos e custos planejados com aqueles efetivamente realizados e, em decorrência disso, conhecer o desempenho do projeto (AVILA; JUNGLES, 2013).

Figura 18 - Método de gestão PERT/CPM.



Fonte: (AVILA; JUNGLES, 2013).

A metodologia do PERT/CPM foi desenvolvida de forma a atender os seguintes objetivos (AVILA; JUNGLES, 2013):

- Reduzir problemas localizados nos projetos, como por exemplo, atrasos, estrangulamentos na produção e interrupções de serviços;
- Identificar com antecedência as atividades críticas para o atendimento do prazo de conclusão do projeto;
- Dar conhecimento à administração sobre o desenvolvimento (favorável ou desfavorável) de cada fase ou atividade de projeto, permitindo a constatação antecipada de fatores críticos que possam perturbar o desempenho e consequentemente realizar medidas corretivas;
- Estabelecer quando cada equipe ou responsável deverá iniciar e concluir as suas atribuições ou atividades;
- Ser um forte instrumento de planejamento, coordenação e controle.

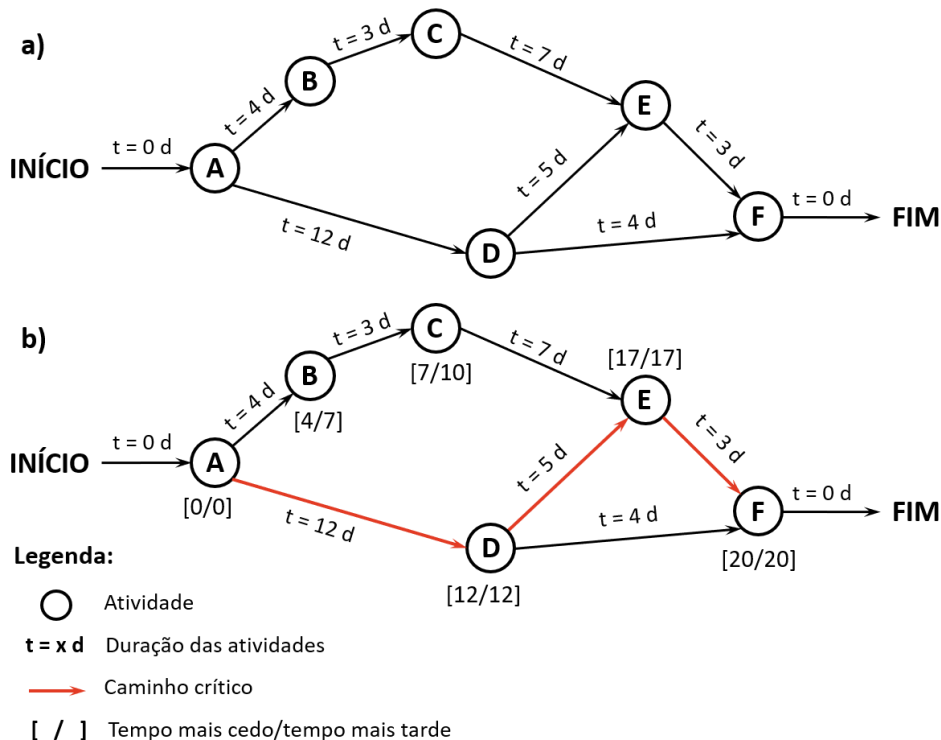
Na Figura 19 está representado um exemplo conceitual de uma rede PERT/CPM simplificada. Na Figura 19a pode observar-se a representação das atividades e respectivas precedências com a duração de cada atividade. Por exemplo, as atividades B e D têm como atividade precedente a A, enquanto que a tarefa E tem

como precedentes as atividades C e D. A duração das atividades é representada entre as mesmas. Importa salientar que no traçado do diagrama de redes o comprimento das flechas não é proporcional à sua duração.

Na Figura 19b está representado o mesmo exemplo com a indicação dos tempos mais cedo e mais tarde das atividades e o caminho crítico. Para calcular a duração total da obra não se pode somar todas as atividades, uma vez que algumas delas acontecem simultaneamente (MATTOS, 2010). Desta forma é necessário verificar quais as atividades que controlam o tempo, ou seja, qual o maior caminho – caminho crítico. Para definir o caminho crítico devem ser calculados os tempos mais cedo e mais tarde das atividades. O tempo mais cedo se refere à primeira data em que a atividade pode ser efetuada, sendo que uma atividade só pode ser iniciada quando todas as suas atividades precedentes tiverem sido concluídas. Matematicamente esse tempo é igual à duração da atividade que chega no evento somada ao tempo do evento de onde ela se origina, e o cálculo é feito no sentido cronológico da rede (da esquerda para a direita). Por exemplo, o tempo mais cedo da atividade C é 7, resultante da soma do tempo da atividade B (4) com a duração entre elas ($t = 3$ dias). No caso de existirem duas atividades que chegam a um mesmo evento, esse tempo é o maior resultado entre somas. Por exemplo, no caso da atividade E, o tempo mais cedo do evento é 17, que resulta da soma das atividades A+D (12+5), uma vez que a soma das atividades A+B+C é 14 (menor que 17) e pela regra deve ser selecionado o maior resultado. Com base nestes cálculos verifica-se que o caminho crítico da obra são as atividades A-D-E-F, totalizando 20 dias de duração da obra.

Já o tempo mais tarde se refere à última data em que a atividade pode ser iniciada sem colocar em causa o prazo total da obra. Matematicamente esse cálculo é feito no sentido inverso da rede (da direita para a esquerda), começando pelo tempo do último evento e ir subtraindo as durações das atividades. No caso de existirem duas atividades que chegam a um mesmo evento, esse tempo é o menor resultado entre subtrações. Por exemplo, no caso da última atividade F a sua duração total é 20, dessa duração devem ser subtraídos 10 dias para calcular o tempo mais tarde da atividade C.

Figura 19 - Exemplo conceitual de uma rede PERT/CPM. a) representação da rede PERT/CPM com as precedências e duração das atividades. b) representação do caminho crítico para a rede e dos tempos mais cedo e mais tarde das atividades.



Fonte: A autora.

As datas de tempo mais cedo e mais tarde das atividades estão representadas na Figura 19b da seguinte forma [tempo mais cedo/tempo mais tarde]. A partir destas datas de início e fim das atividades podem ser calculadas as folgas entre atividades e os eventos críticos. Os eventos críticos são aqueles que não dispõem de folgas, ou seja, o tempo mais cedo e o tempo mais tarde são iguais (atividades A-D-E-F), e que são coincidentes com o caminho crítico.

Por exemplo, para execução da atividade E devem ser realizadas as tarefas A+B+C (4+3+7=14 dias) e as tarefas A+D (12+5=17 dias), ou seja, a atividade C dispõe de uma folga de 3 dias (17-14=3 dias) para ser executada sem prejudicar a execução da atividade E, uma vez que não coloca em causa o prazo final da obra. Já a atividade D não dispõe de folga para a sua realização e qualquer atraso na realização dessa tarefa irá colocar em causa o prazo final da obra.

Como se pode verificar o diagrama de redes é bastante complexo e detalhado, mesmo para um exemplo conceitual simplificado. Além disso, a sua elaboração exige experiência do planejador, uma vez que é fundamental dominar a duração necessária para executar cada atividade. No entanto, a técnica permite o cálculo das atividades

críticas e desta forma ajuda os responsáveis pela obra a manterem o foco e os recursos direcionados à execução dessas atividades (VANHOUCHE, 2013).

Segundo diversos autores, as técnicas PERT/CPM não são adequadas para aplicar no setor da construção.

Birrel (1980), indica que a técnica CPM foi criada para gerenciar empreendimentos que tinham apenas como objetivo cumprir os prazos e não melhorar a eficiência dos recursos, característica tipicamente encontrada no setor da construção. As técnicas de rede PERT/CPM são principalmente direcionadas para atividades sequenciais e por isso não se aplicam à grande maioria das atividades existentes na construção. Além disso, o sequenciamento das atividades no CPM é definido apenas em função das restrições tecnológicas, não considerando as limitações de recursos (LAUFER; L. TUCKER, 1987).

Outra desvantagem das técnicas de rede está associada ao seu excessivo grau de detalhamento, sendo que cada obra tem características únicas (BIRRELL, 1980), além da dinâmica, variabilidade e incerteza associada aos processos construtivos, o que torna difícil elaborar um planejamento detalhado com tanta antecedência (BALLARD, 2000). Além disso, diversas empresas estão envolvidas no processo produtivo e por isso é frequente que as atividades planejadas tenham que ser modificadas (BIRRELL, 1980). Uma vez que o planejamento de uma obra requer um elevado grau de detalhamento, a realização de atualizações nas redes consome muito tempo (LAUFER; L. TUCKER, 1987).

Um dos princípios da *lean construction* é a redução das atividades que não agregam valor (espera, armazenamento, movimentação de materiais e inspeção), enquanto que o modelo tradicional considera apenas a conversão de matérias primas em produtos. No entanto, todas as atividades possuem custos e consomem tempo, mas apenas as atividades de conversão adicionam valor ao material transformando-o em produto. Por isso, a melhoria das atividades de fluxo deveria primeiramente ser focada na redução ou eliminação das atividades que não agregam valor, enquanto que as atividades de conversão deveriam ser feitas de forma mais eficiente. De acordo com estas premissas, as ferramentas tradicionais de planejamento e controle, como as redes PERT/CPM, não são adequadas, pois raramente apontam as atividades que não agregam valor (KOSKELA, 1992).

4 METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL

Um sistema de planejamento e controle da produção é essencial para as empresas no setor da construção, uma vez que promove a melhoria do desempenho em obras de engenharia. A avaliação de desempenho de obras garante o cumprimento de critérios técnicos de qualidade, custo e tempo de execução das mesmas.

No caso da Engenharia Natural não existem procedimentos de planejamento e controle da produção para avaliação de desempenho de obras, estabelecidos e padronizados através de metodologias, conforme apresentado no Capítulo 2 desta tese. As obras de Engenharia Natural são alvo de controle informal, onde não se utilizam metodologias de planejamento nem de controle da produção através de indicadores de desempenho ou outros sistemas de gestão da qualidade.

Em obras de Engenharia Natural o planejamento normalmente é desenvolvido apenas no longo prazo. A inexistência de elaboração de planos de médio e curto prazo impede a integração vertical do processo de planejamento, que visa facilitar o controle e a identificação de recursos necessários à execução da obra. Esta condição resulta na falta de conexão entre as metas estabelecidas para a obra, possíveis atrasos no fornecimento de recursos e podem dificultar o cumprimento dos prazos definidos.

A inexistência de um planejamento de curto prazo formal causa uma redução na transparência do processo, uma vez que as metas definidas não são registradas, o que dificulta o controle e análise do planejamento e conseqüentemente o processo de tomada de decisão. Normalmente, o planejamento de curto prazo é realizado informalmente através da troca verbal de informações das metas semanais entre o engenheiro responsável, o encarregado e as equipes de produção, feito sem a antecipação necessária, muitas vezes no início da própria semana ao qual se refere esse planejamento informal ou diariamente. Outro problema resultante da falta de formalização dos planos de médio e curto prazo é a inexistência de programação no fornecimento de recursos para a execução da obra. Essa programação deve ser feita antecipadamente em períodos determinados de acordo com o previsto no plano de longo e médio prazo, e caso isso não ocorra pode haver falta de recursos devido ao prazo necessário para a compra e disponibilização dos mesmos por parte dos

fornecedores. A programação de recursos, principalmente de materiais, realizada fora do período adequado ou de forma emergencial influencia negativamente a continuidade da execução da obra e conseqüentemente a sua conclusão nos prazos definidos.

A elaboração do planejamento da produção, com integração entre planos de longo, médio e curto prazo e atualizações frequentes desses planos com base no controle da produção é essencial para programar a disponibilidade de recursos financeiros. Esses recursos financeiros disponibilizados nas datas programadas permitem a aquisição de mão de obra, máquinas e materiais que constituem a base da execução da obra, evitando atrasos na produção.

O processo de controle também é feito frequentemente através da troca de informações verbais entre as equipes de produção, o engenheiro e a gerência. Apesar da informalidade promover certo grau de agilidade no processo de decisão, este tipo de gestão informal apresenta diversas desvantagens com conseqüências na qualidade da produção. Uma destas desvantagens é a dificuldade em detectar as causas reais dos problemas pelos quais as metas produtivas não foram atingidas, o que impossibilita a implementação de ações corretivas para que essas causas não se repitam. A ausência da coleta de dados de controle da produção através de indicadores de desempenho também compromete a preparação de planos futuros de outras obras, bem como, atualizações adequadas nos planos da própria obra. Além disso, a não coleta desses indicadores prejudica a definição de metas produtivas realistas por desconhecimento da capacidade produtiva das equipes de trabalho.

Outra limitação encontrada na execução de obras de Engenharia Natural, particularmente no Brasil, onde estas técnicas são relativamente recentes, é o conhecimento incipiente dos procedimentos construtivos por parte das empresas. A gestão das obras com base no planejamento e controle da produção pode ajudar a estabelecer um processo contínuo de aprendizagem. Este processo de aprendizagem pode ocorrer no nível operacional com melhoria do desempenho das equipes de produção, que melhoram os seus conhecimentos dos procedimentos construtivos e conseqüentemente os seus índices de produtividade. Também pode ocorrer no nível tático, onde o engenheiro responsável pela obra, fundamentado pelos resultados obtidos a partir da coleta de indicadores de desempenho, melhora o processo de definição das metas passíveis de serem atingidas com base nas capacidades produtivas das equipes de trabalho.

Além disso, a identificação e compreensão das causas pelas quais essas metas não foram atingidas também permite ao engenheiro definir e implementar medidas corretivas, de forma a evitar a ocorrência dos mesmos problemas novamente que podem causar atrasos na entrega da obra. A nível gerencial essa aprendizagem adquirida com o planejamento da obra e com os resultados provenientes dos indicadores de desempenho promove o aperfeiçoamento na definição das datas no plano de longo prazo e na programação para disponibilização dos recursos financeiros. Posteriormente, na negociação de empreendimentos futuros, especificamente durante a elaboração do orçamento ocorre uma otimização do processo com base nos conhecimentos adquiridos no planejamento e controle de obras anteriores.

O conhecimento incipiente dos métodos construtivos também pode causar a entrega de um produto final de menor qualidade que não atenda às especificações definidas em projeto, nem aos requisitos dos clientes. A implementação do planejamento e controle da produção visa a melhoria contínua do processo produtivo, o que conduz a um aumento no índice de satisfação dos clientes, uma vez que o produto obtido no fim da execução da obra apresenta a qualidade que atende aos requisitos definidos pelo cliente.

Outro problema vinculado especificamente às obras de Engenharia Natural está relacionado com a vegetação. O espaço temporal para executar as obras é diretamente dependente da época adequada para implementar a vegetação, sendo que as plantas são um fator determinante para o desempenho a nível de qualidade das obras. Desta forma, no processo de planejamento é fundamental considerar o período ideal para instalação da vegetação para então definir as datas de início e término das obras.

Considerando estas deficiências encontradas na gestão da qualidade de obras de Engenharia Natural surge a demanda por uma metodologia de planejamento e controle da produção que atenda às especificidades desta disciplina técnica, considerando os conceitos e princípios da *lean construction*.

A implementação do processo de planejamento e controle da produção em obras de Engenharia Natural visa o aumento da eficiência através do uso racional dos recursos disponíveis, bem como o aumento da eficácia através do atendimento das metas definidas ao nível dos prazos, custos e qualidade.

Com base nestas premissas, na pesquisa e revisão bibliográfica e na experiência profissional da autora desta tese, foi selecionado um conjunto de métodos de planejamento e controle da produção, de indicadores de desempenho e de técnicas de medição de qualidade, que melhor se adaptam à realidade das obras de Engenharia Natural, a partir dos quais, se propõe uma metodologia para gestão e avaliação do processo produtivo.

4.1 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS DE ENGENHARIA NATURAL

Compreendendo os conceitos relacionados com os sistemas produtivos e dos quais depende a avaliação de desempenho realizada através de critérios técnicos quantitativos elaborou-se uma proposta de metodologia para o planejamento e controle de obras de Engenharia Natural. Posteriormente esta metodologia será validada através da aplicação prática a um estudo de caso realizado no Brasil.

Nas seções que se seguem é apresentada uma proposta de metodologia elaborada com base em conceitos de gestão da produção em níveis hierárquicos, que foram apresentados e revisados no capítulo 3. Será apresentado um modelo de planejamento e controle da produção integrando os três níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional. Este modelo é composto por três etapas fundamentais: preparação do processo, planejamento e controle da produção e avaliação do processo. Para cada etapa são apresentadas as atividades que devem ser realizadas. Na sequência será apresentado o sistema de indicadores de desempenho proposto.

O processo de planejamento e controle da produção dividido em três níveis hierárquicos, tem a vantagem de produzir planos com grau de detalhamento adequado, considerando o horizonte de planejamento e a abrangência de cada nível, sem dispendir muito tempo na preparação de um único plano com elevado grau de detalhamento e que rapidamente poderá ficar obsoleto e desajustado às condições reais da obra.

Na metodologia proposta serão considerados os conceitos e princípios da *lean construction* considerando as especificidades das obras de Engenharia Natural.

A lógica operacional desta metodologia é baseada no ciclo PDCA, onde numa fase inicial é elaborado um planejamento (*Plan*), na sequência as atividades são

executadas (*Do*) e controladas (*Check*) e por fim são implementadas ações corretivas (*Action*). Esta sequência lógica visa o desenvolvimento da melhoria contínua dentro das organizações, por meio do estabelecimento de metas, orientação no processo de tomada de decisão e padronização das ações.

4.1.1 Preparação do processo

A primeira etapa proposta nesta metodologia diz respeito à preparação do processo de planejamento e controle da produção. Após assinatura do contrato com o cliente, a empresa executante na posse dos projetos, especificações técnicas, orçamento e prazos contratuais estabelecidos para execução da obra inicia a preparação do processo de planejamento.

Os objetivos desta etapa são a tomada de decisões preliminares ao PCP e a definição de procedimentos e padrões de planejamento pela gerência da empresa. Para atender a estes objetivos devem ser realizadas várias atividades descritas em seguida e compiladas na Figura 21.

a) Definição dos responsáveis pelo PCP

Previamente ao planejamento e controle da produção propriamente dito é essencial determinar quais os funcionários responsáveis por cada etapa do processo. Devem ser definidos os responsáveis pela elaboração do plano de longo, médio e curto prazo, além de quem deve realizar a parte referente à coleta dos indicadores durante a fase de execução da obra, o tratamento dos dados e a análise dos resultados. Esta definição vai depender da estrutura de cada empresa, do número de funcionários e suas atribuições técnicas.

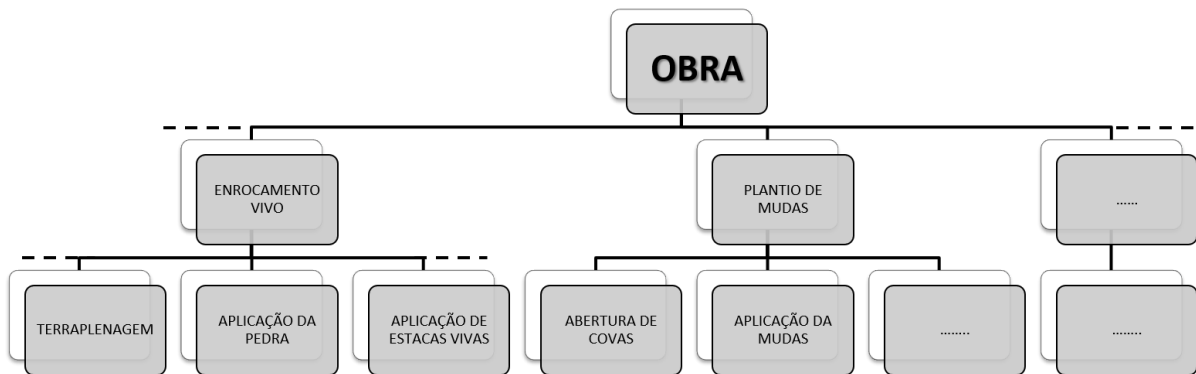
b) Estabelecimento dos padrões de planejamento

Esta atividade diz respeito à definição dos padrões a serem utilizados no planejamento. Se propõe nesta metodologia a utilização da Estrutura Analítica de Partição de Projeto (EAP) e o zoneamento da obra. A EAP constitui a decomposição da obra em componentes menores devidamente hierarquizados entre eles. Na Figura

20 está representada uma EAP conceitual elaborada parcialmente para um exemplo de uma obra de Engenharia Natural.

Na posse do escopo total do trabalho, devem ser listadas todas as atividades principais que posteriormente devem ser hierarquicamente decompostas em tarefas (ou pacotes de trabalho). Não deve ser omitida nenhuma atividade nem pacote de trabalho na elaboração da EAP. A partir da EAP fica organizada e definida em detalhe a sequência lógica de cada atividade que compõe a obra, o que permite controlar a evolução da obra em termos de execução física e execução financeira. A EAP não apresenta a sequência executiva ou dependência entre atividades.

Figura 20 - Exemplo de uma EAP conceitual elaborada para uma obra de Engenharia Natural.



Fonte: A autora.

O zoneamento da obra consiste no processo de divisão e arranjo do espaço físico da obra e seu canteiro. O zoneamento é importante para estabelecer as unidades de controle utilizadas para dimensionamento nos pacotes de trabalho e definir os fluxos físicos relacionados com a execução da obra. Para definir o arranjo das zonas da obra deverão ser considerados os seguintes critérios: as técnicas de intervenção previstas em projeto, o local onde será feito o armazenamento dos materiais (inertes e vivos) e os caminhos preferenciais para acesso de materiais e fluxo de pessoas durante a execução das tarefas. O zoneamento da obra também pode incluir o projeto de arranjo do canteiro, caso seja necessário. Este arranjo diz respeito à disposição física de escritório, vestiário, banheiros, almoxarifado e deve considerar os requisitos de segurança da obra, como por exemplo redes de alta tensão, dutos enterrados, e outros.

O zoneamento da obra é especialmente importante em intervenções de Engenharia Natural que normalmente visam a recuperação ambiental de uma área

degradada. Desta forma, a execução da obra deve ter o menor impacto possível nas áreas adjacentes, que frequentemente são áreas protegidas ou de preservação ambiental.

O zoneamento da obra deve ser preferencialmente disponibilizado no canteiro de obra, de forma a que todos os intervenientes tenham acesso a esta informação. Além disso, a implementação desta medida visa o processo de melhoria contínua e a transparência.

c) Definição dos planos e da frequência de replanejamento

Nesta fase são definidos os planos que devem ser elaborados e o seu horizonte de planeamento, ou seja, qual o intervalo de tempo entre a preparação do plano e a realização das atividades estabelecidas no mesmo. Deve ser definida qual a frequência de replanejamento que, no entanto, pode sofrer alterações de acordo com o desenvolvimento executivo da obra. Estas definições também são dependentes da duração total da obra estabelecida em contrato entre a empresa executante e o cliente final.

d) Análise das restrições

Nesta etapa devem ser analisadas as restrições gerais relacionadas à obra, nomeadamente, localização geográfica, acesso à obra, limitações de recursos físicos e financeiros. Dentro da análise das restrições também devem ser consideradas as condicionantes definidas pelas políticas ambientais, sejam elas federais, estaduais ou municipais.

As obras de Engenharia Natural dão preferência à utilização de materiais naturais disponíveis no local de intervenção ou nas proximidades, com exceção de locais onde não exista nenhum material passível de ser utilizado. Normalmente estas especificações estão definidas no projeto executivo da obra, mas nem sempre é feita a análise das restrições existentes. Desta forma, nesta etapa deve ser feita essa análise, onde se destaca especialmente a importância do mapeamento das áreas de vegetação nativa a ser utilizada para execução da obra, bem como, a necessidade de solicitar as licenças ambientais exigidas para o seu manejo (corte parcial) para

utilização na forma de estacas ou ramos vivos para a execução das técnicas de Engenharia Natural.

e) Estabelecimento de metas gerais

O estabelecimento de metas visa atender aos critérios especificados pelo projeto e às exigências dos clientes ao nível de prazo, custo e qualidade. Durante a preparação do processo de planejamento devem ser estabelecidas metas gerais vinculadas à disponibilidade financeira da empresa e às capacidades produtivas das equipes de trabalho. Durante a elaboração do PCP nos diferentes níveis hierárquicos as metas deverão ser mais detalhadas.

f) Definição da estratégia de ataque à obra

Consiste na definição da estratégia executiva referente aos fluxos de trabalho que compõem a obra e que estabelecem a sequência construtiva dos diversos serviços. Desta forma, deve ser previamente determinada a sucessão lógica executiva para cada técnica especificada em projeto com base no zoneamento da obra e na análise das restrições.

g) Especificação dos indicadores de desempenho

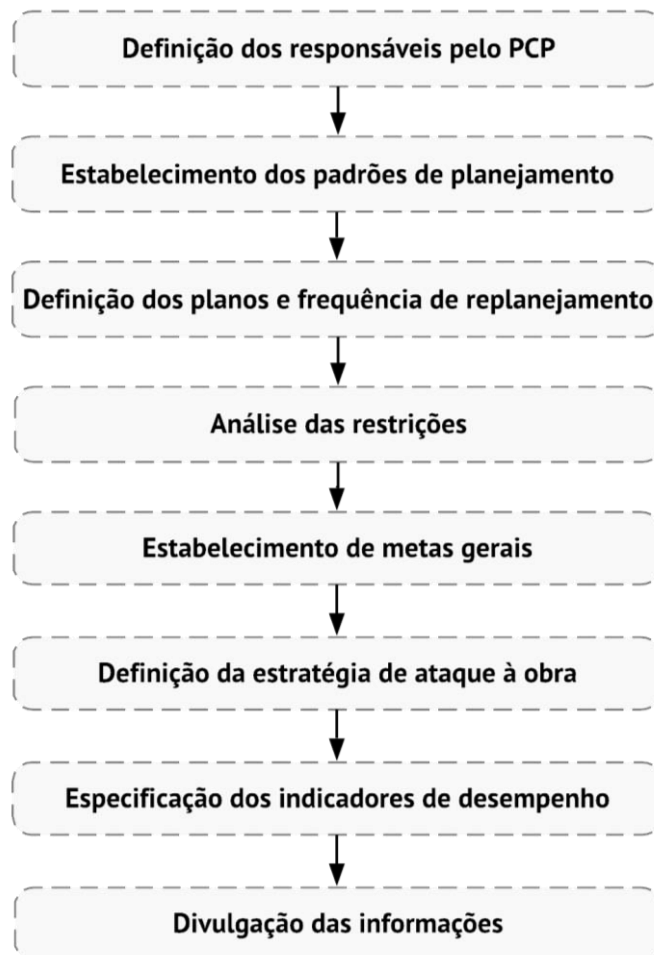
Durante a preparação do processo devem ser definidos os indicadores de desempenho a serem coletados durante a execução da obra. Também deve ser determinado quem são os responsáveis pela coleta, tratamento dos dados e análise dos resultados. Apesar desta metodologia posteriormente apresentar um conjunto de indicadores que são adequados às especificidades das obras de Engenharia Natural, existe um conjunto muito variado de indicadores e por isso as empresas poderão optar por outros indicadores que considerem mais apropriados e pertinentes. À medida que as empresas evoluem no processo de PCP podem considerar ajustar ou definir outros indicadores de desempenho que se enquadrem melhor com as suas estratégias, objetivos, demandas ou resultados produtivos.

h) Divulgação das informações

Após a realização de todas as atividades elencadas anteriormente, a preparação do processo deve ser finalizada com uma reunião inicial preparatória com os principais responsáveis pelas etapas subsequentes. Nessa reunião deve ser feita a divulgação de todas as informações consolidadas no processo de preparação preliminar do planejamento e controle da produção.

Na Figura 21 são apresentadas as atividades que compõem a primeira fase de preparação do processo, conforme descrito anteriormente.

Figura 21 - Fluxograma das atividades que compõem a preparação do processo.



Fonte: A autora.

Terminada a primeira etapa de preparação do processo inicia-se o processo de planejamento e controle da produção propriamente dito, conforme será apresentado na próxima seção.

4.1.2 Planejamento e controle da produção

A segunda etapa proposta nesta metodologia diz respeito ao planejamento e controle da produção, integrando os três níveis hierárquicos de planejamento estratégico de longo prazo, tático de médio prazo e operacional de curto prazo.

O planejamento visa a implementação de um processo transversal a toda a estrutura empresarial, que promove a gestão da produção através da definição de objetivos, sistematização de procedimentos e elaboração de planos realísticos de serem atingidos durante a execução das obras.

Os planos elaborados são representados esquematicamente, o que reduz a incerteza relacionada à antecipação do processo de planejamento nos diferentes níveis hierárquicos. Além disso, a representação esquemática visa aumentar o conhecimento das metas estabelecidas para todos os intervenientes na execução da obra.

O controle da produção garante o cumprimento dos procedimentos e planos estabelecidos no planejamento, por meio da avaliação da sua conformidade baseada na implementação de um sistema de indicadores de desempenho. O controle de obras visa o aumento da sua eficácia, uma vez que permite a identificação de desvios em relação ao planejado e conseqüentemente a tomada de decisão sobre a implementação de medidas corretivas que viabilizem o atendimento das metas definidas. O processo de controle da produção também aumenta a eficiência da obra, uma vez que promove a otimização de recursos financeiros, humanos e materiais durante a execução da mesma.

O processo de planejamento e controle da produção deve ser desenvolvido na sua dimensão vertical que integra os diversos níveis hierárquicos da empresa. A hierarquização do planejamento visa minimizar a incerteza e a variabilidade do processo de produção, conduzindo a um produto final (obra) que atenda às especificações de projeto e conseqüentemente às exigências e necessidades do cliente final. O planejamento desenvolvido em cada um dos três níveis hierárquicos, a longo, médio e curto prazo, apresenta diferente grau de detalhamento, sendo que

quanto mais alto o nível hierárquico menor o grau de detalhe dos planos e por isso maior a incerteza associada ao processo de planejamento. A seguir serão apresentados os três níveis de planejamento e controle da produção.

4.1.2.1 Planejamento de Longo Prazo

Finalizada a preparação preliminar do processo com a divulgação das informações para os principais responsáveis pelo planejamento e controle da produção inicia-se o planejamento de longo prazo, também denominado de planejamento estratégico ou mestre. Os responsáveis pelo desenvolvimento desta fase são o engenheiro da obra em conjunto com o planejador. No caso de empresas que não possuam departamento de planejamento com profissional especializado, o plano de longo prazo deve ser desenvolvido pelo engenheiro responsável pela obra.

Os objetivos desta fase são a avaliação do processo global da produção, a identificação dos principais objetivos da obra, além de orientar a preparação do plano de médio prazo. Para atender a estes objetivos devem ser realizadas várias atividades descritas em seguida e compiladas no fluxograma da Figura 24.

a) Aquisição de informações

Esta atividade diz respeito à coleta de informações que foram compiladas na primeira etapa de preparação do processo, como os padrões estabelecidos para a EAP e para o zoneamento da obra, qual o horizonte de planejamento definido para o plano mestre e a sua frequência de replanejamento, as metas a nível de prazo, custo e qualidade e a estratégia executiva de ataque definida para a sequência construtiva dos diversos serviços da obra. Na posse destas informações pode ser elaborado o plano de longo prazo.

b) Elaboração do plano mestre

A elaboração do plano mestre é a atividade de maior importância durante o planejamento de longo prazo. São estabelecidas as metas que devem atender às exigências dos clientes, bem como, as atividades das equipes de produção de acordo

com a disponibilidade financeira da empresa. O plano mestre também deve compreender a previsão das despesas e receitas associadas à produção.

As obras de Engenharia Natural normalmente apresentam menor período executivo quando comparadas com empreendimentos da construção civil que podem prolongar-se por vários anos. Desta forma o horizonte de planejamento de longo prazo deve compreender a execução de toda a obra.

O plano mestre deve ser revisado bi ou trimestralmente, com base na coleta e análise dos indicadores de desempenho utilizados na obra.

O plano mestre apresenta baixo grau de detalhe e podem ser utilizadas várias técnicas para a sua elaboração, como por exemplo, diagrama de Gantt, redes de precedência (PERT/CPM) ou linha de balanço. Apesar da técnica de redes apresentar vantagens como a identificação das atividades críticas da obra, a técnica é principalmente direcionada para atividades sequenciais pouco comuns em obras de Engenharia Natural, além de visar apenas o cumprimento do prazo da obra e ser caracterizada por uma elaboração demasiado detalhada, complexa e por isso demorada. As técnicas PERT/CPM são muito utilizadas nos sistemas tradicionais de planejamento que consideram apenas a conversão de matérias primas em produtos, o que dificulta a aplicação dos princípios da *lean construction*. A técnica da linha de balanço, conforme explicado anteriormente é utilizada em obras com características construtivas repetitivas e por isso não é adequada para obras de Engenharia Natural.

Face às condicionantes apresentadas para as outras técnicas, esta metodologia propõe que o plano mestre seja elaborado com o diagrama de Gantt. O gráfico de Gantt, apesar da sua simplicidade mostra-se uma técnica adequada às necessidades e requisitos deste plano.

O plano mestre também pode ser elaborado em pacotes computacionais desenvolvidos especificamente para esse objetivo. No entanto, grande parte das empresas que executam obras de Engenharia Natural são de pequeno a médio porte e normalmente não possuem estes pacotes computacionais. Desta forma, esta metodologia propõe que o plano mestre seja desenvolvido com programas de fácil acesso e que todas as empresas possuem como por exemplo, o Microsoft Project ou Excel.

Na Figura 22 está representado o exemplo da planilha proposta para elaboração do plano mestre com os componentes que devem ser incluídos na mesma. O gráfico de Gantt proposto foi elaborado no programa Microsoft Project. Na primeira

coluna estão representadas as tarefas (atividades) principais e a sua decomposição em subtarefas. Na segunda coluna é inserida a informação referente à duração das atividades. Posteriormente, na terceira coluna está apresentada a data de início de cada atividade. Na quarta coluna é apresentada a data de término de cada atividade calculada automaticamente a partir da data de início e da duração das atividades, considerando apenas os dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira).

Os resultados provenientes das informações das quatro primeiras colunas estão representados à direita numa escala de tempo horizontal. O início da primeira atividade e o término da última atividade devem atender ao prazo de execução da obra previsto no contrato entre a empresa executante e o cliente.

Por fim, nas últimas duas colunas estão representadas as informações da previsão dos custos, bem como, das receitas referentes à execução de cada atividade (somatório dos valores dos pacotes de trabalho que constituem a atividade). Os valores apresentados na Figura 22 são exemplificativos.

Concluída a sua elaboração, o plano mestre deverá ser submetido à análise e aprovação da diretoria da empresa.

c) Programação de recursos classe 1

Com base no plano mestre deve ser programado o fornecimento dos recursos de classe 1. A programação deve incluir todos os recursos de classe 1 necessários para execução da obra, que compreendem mão de obra, equipamentos, materiais e máquinas. Os recursos classe 1 são caracterizados por terem um longo ciclo de aquisição e baixa repetitividade, uma vez que normalmente é feita a aquisição de todo o lote necessário. Cada departamento irá posteriormente analisar a necessidade de comprar, contratar ou alugar recursos classe 1, com base em informações dos estoques de materiais disponíveis e na alocação de equipes, máquinas e equipamentos em outras obras da empresa em fase de execução.

A adequada elaboração da programação tem como objetivo disponibilizar na obra os recursos em tempo útil, atendendo ao prazo estabelecido no plano mestre para a execução das atividades, o que evita a paralisação da obra. Desta forma, a programação deve apresentar as datas-marco para disponibilização dos recursos na obra.

Figura 22 - Exemplo de planilha para a elaboração do plano mestre.

Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Previsão Custos	Previsão Receitas	Maio		Junho				Julho				Agosto				
						06/05/18	13/05/18	20/05/18	27/05/18	03/06/18	10/06/18	17/06/18	24/06/18	01/07/18	08/07/18	15/07/18	22/07/18	29/07/18	05/08/18	12/08/18
Atividade 1	30 dias	Seg 07/05/18	Sex 15/06/18	R\$ 35 000,00	R\$ 45 500,00															
Atividade 1.1	5 dias	Seg 07/05/18	Sex 11/05/18	R\$ 5 000,00	R\$ 6 500,00															
Atividade 1.2	25 dias	Seg 14/05/18	Sex 15/06/18	R\$ 30 000,00	R\$ 39 000,00															
Atividade 2	14 dias	Seg 18/06/18	Qui 05/07/18	R\$ 24 000,00	R\$ 31 200,00															
Atividade 2.1	8 dias	Seg 18/06/18	Qua 27/06/18	R\$ 10 000,00	R\$ 13 000,00															
Atividade 2.2	8 dias	Seg 18/06/18	Qua 27/06/18	R\$ 8 000,00	R\$ 10 400,00															
Atividade 2.3	7 dias	Qua 27/06/18	Qui 05/07/18	R\$ 6 000,00	R\$ 7 800,00															
Atividade 3	32 dias	Qui 05/07/18	Sex 17/08/18	R\$ 64 000,00	R\$ 83 200,00															
Atividade 3.1	9 dias	Qui 05/07/18	Ter 17/07/18	R\$ 10 000,00	R\$ 13 000,00															
Atividade 3.2	12 dias	Ter 10/07/18	Qua 25/07/18	R\$ 12 000,00	R\$ 15 600,00															
Atividade 3.3	7 dias	Seg 23/07/18	Ter 31/07/18	R\$ 7 000,00	R\$ 9 100,00															
Atividade 3.4	20 dias	Seg 23/07/18	Sex 17/08/18	R\$ 35 000,00	R\$ 45 500,00															
...	...	...	...	R\$ 0,00	R\$ 0,00															

Fonte: A autora.

Da mesma forma que no plano mestre, para elaborar a programação dos recursos podem ser utilizados programas de fácil acesso, como por exemplo, o Microsoft Excel.

Na Figura 23 está representado o exemplo da planilha proposta para a elaboração da programação dos recursos classe 1, com os componentes que devem ser incluídos na mesma. Na parte superior da planilha devem ser preenchidas as informações gerais da obra, como nome da obra, localização e engenheiro responsável pela execução da mesma. Também devem constar informações das datas e responsáveis pela elaboração e revisão das informações que integram a planilha, bem como, a data e o número de revisão da programação.

Figura 23 - Exemplo de planilha para a elaboração da programação de recursos classe 1.

Logotipo da empresa	Obra:	Elaborado em:	Data:	
	Local:	Elaborado por:		
	Engenheiro(a):	Alterado em:	Revisão n.º	
		Alterado por:		
Recursos	Descrição do recurso	Quantidade	Unidade	Datas-marco
Mão de obra	Equipe 1	...	...	dia/mês/ano
	Equipe 2	...	...	dia/mês/ano
	Equipe 3	...	...	dia/mês/ano
	...	...	...	dia/mês/ano
Materiais	Material 1	...	...	dia/mês/ano
	Material 2	...	...	dia/mês/ano
	Material 3	...	...	dia/mês/ano
	...	...	...	dia/mês/ano
Máquinas/Veículos	Máquina 1	...	un.	dia/mês/ano
	Máquina 2	...	un.	dia/mês/ano
	Máquina 3	...	un.	dia/mês/ano
	...	...	...	dia/mês/ano
Equipamentos	Equipamento 1	...	un.	dia/mês/ano
	Equipamento 2	...	un.	dia/mês/ano
	Equipamento 3	...	un.	dia/mês/ano
	...	...	...	dia/mês/ano
Arquivo:		Aprovação diretoria:		

Fonte: A autora.

No corpo da planilha constam as informações referentes à programação dos recursos classe 1, nomeadamente mão de obra, materiais, máquinas e equipamentos. Na primeira coluna consta a identificação geral do recurso, enquanto na segunda coluna o mesmo deve ser descrito detalhadamente, inclusive com as suas características ou dimensões e na terceira deve estar especificada a quantidade que deve ser fornecida à obra. Na quarta coluna devem estar definidas as unidades do recurso. Para os materiais as unidades de medida vão depender do tipo de material, por exemplo, unidades para troncos de madeira, plantas, metros quadrados para biomanta, geotêxteis, metros cúbicos para pedra, solo, e kilos para sementes, adubos, entre outros. Para a mão de obra, máquinas, veículos e equipamentos os valores são sempre unitários. Na última coluna devem ser preenchidas as datas-marco, no formato dia/mês/ano para fornecimento de cada recurso que consta na planilha.

Por fim, no rodapé da planilha devem ser registradas as informações referentes ao arquivo, especificamente o nome do arquivo digital e o caminho na base de dados da empresa para facilitar o acesso à planilha, bem como a assinatura referente à aprovação pela diretoria da empresa.

d) Divulgação de informações

Na posse do plano mestre e da programação de recursos classe 1 deve ser feita a divulgação das informações dentro da empresa, de acordo com as necessidades dos usuários. O plano mestre deve ser apresentado para os responsáveis pela execução da obra, como encarregado e chefes de equipes. A apresentação deve ser realizada preferencialmente de forma verbal em reunião no escritório da empresa e deverá ser analisada e discutida a viabilidade do plano. Se necessário o plano mestre poderá ser alterado, sendo realizada uma segunda revisão do mesmo e que deverá ser novamente submetido à aprovação da diretoria.

O plano mestre também deve ser divulgado ao departamento financeiro, que com base na previsão dos custos e receitas, bem como em outros empreendimentos da empresa em fase de execução, planejamento ou de negociação, pode fazer a gestão financeira com projeção do fluxo de caixa²³.

²³ Fluxo de caixa consiste na projeção para períodos futuros de todas as entradas e saídas de recursos financeiros da empresa (SEBRAE/MG, 2013).

No caso da programação de recursos classe 1, a mesma deve ser encaminhada formalmente para os setores responsáveis pela aquisição desses recursos. A parte referente à mão de obra é responsabilidade do departamento de recursos humanos que deve aferir a necessidade de terceirização e/ou contratação de novos funcionários com base em informações da alocação de equipes em outras obras da empresa em fase de execução. O departamento de suprimentos é responsável pela disponibilização, aquisição ou aluguer de materiais, máquinas e equipamentos.

À semelhança do que ocorre no departamento de recursos humanos também se deve avaliar a necessidade de aquisição de materiais com base nos estoques existentes. No caso do aluguer de máquinas e equipamentos devem ser consideradas informações referentes à alocação dos recursos existentes em outras obras da empresa em fase de execução.

e) Contratação de recursos classe 1

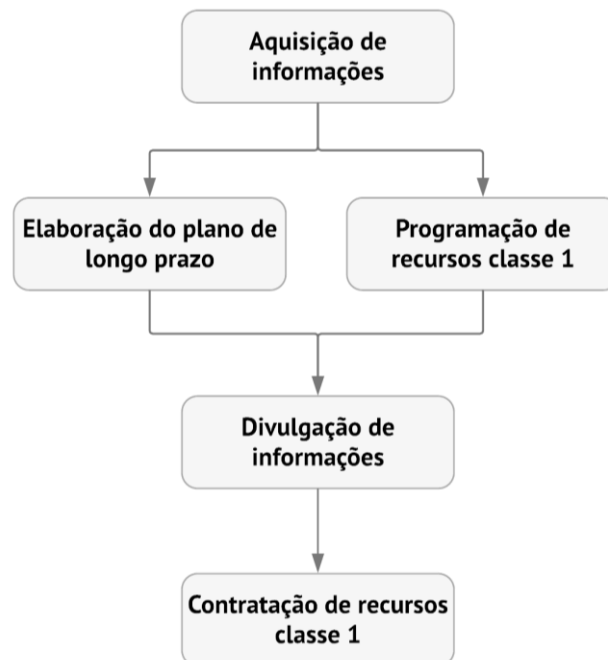
Posteriormente à avaliação das necessidades de contratação pelos departamentos de recursos humanos e suprimentos, com base em informações de outros empreendimentos da empresa em fase de execução e na existência de estoques, deve ser iniciado o processo de contratação.

Os procedimentos de contratação são específicos de cada departamento e não cabe no tema desta tese detalhar os protocolos a serem seguidos. No entanto, é importante referir que principalmente no caso dos materiais e equipamentos, os departamentos responsáveis devem acompanhar o processo de fornecimento com os fornecedores contratados de forma a atender ao cumprimento das datas-marco especificadas na programação. No caso do aluguer ou compra de máquinas ou veículos, devido ao elevado custo dos mesmos, esta decisão é da responsabilidade da diretoria da empresa que deve aprovar previamente a ação a ser tomada.

O departamento de recursos humanos deve iniciar o processo de contratação de novos funcionários, caso seja necessário, uma vez que o procedimento de divulgação, seleção e contratação normalmente é demorado. A contratação de novos funcionários deve ser devidamente aprovada pela diretoria da empresa.

Na Figura 24 são apresentadas as atividades que compõem o planejamento de longo prazo, conforme descrito.

Figura 24 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de longo prazo.



Fonte: A autora.

Os produtos gerados nesta fase, nomeadamente o plano mestre e a programação de recursos classe 1, devem ser submetidos à avaliação e aprovação da diretoria da empresa, antes da sua divulgação para os outros departamentos e funcionários. Este procedimento é importante porque permite que a gerência possa avaliar a necessidade de realizar ajustes, com o objetivo de integrar o planejamento da obra em questão com outros empreendimentos da empresa em fase de execução, planejamento ou de negociação.

O plano mestre e a programação de recursos classe 1 devem ser revisados e devidamente atualizados caso ocorram interferências no desenvolvimento da obra. Essas interferências podem ser causadas por atrasos na execução da obra devido a problemas climáticos, atrasos no fornecimento de materiais, falta de mão de obra, alterações de projeto ou requisitos dos clientes, mudanças no fluxo de despesas e receitas. Para auxiliar no processo de tomada de decisão durante a revisão do plano mestre e da programação de recursos devem ser obtidas informações dos níveis de planejamento de médio e curto prazo, bem como, dos resultados obtidos a partir dos

indicadores de desempenho. Concluída a revisão, deve proceder-se à divulgação dessas revisões dentro da empresa de acordo com as necessidades dos usuários.

4.1.2.2 Planejamento de Médio Prazo

Após conclusão do planejamento de longo prazo é iniciado o planejamento de médio prazo, também denominado de planejamento tático ou *lookahead planning*. O responsável pelo desenvolvimento desta fase é o engenheiro da obra.

Os objetivos desta fase são vincular o planejamento de longo prazo com o de curto prazo, identificar as restrições da obra e tomar ações para as remover o que reduz a incerteza e aumenta a confiabilidade do plano de curto prazo. Para atender a estes objetivos devem ser realizadas várias atividades descritas em seguida e compiladas no fluxograma da Figura 26.

a) Aquisição de informações

Esta atividade diz respeito à coleta de algumas das informações que foram compiladas na primeira etapa de preparação do processo, como os padrões estabelecidos para a EAP e para o zoneamento da obra, qual o horizonte de planejamento definido para o plano de médio prazo, a sua frequência de replanejamento e as restrições identificadas para a execução da obra. Também são compiladas informações provenientes do plano de longo e curto prazo, bem como, dos resultados obtidos a partir dos indicadores de desempenho. Na posse destas informações pode ser elaborado o plano de médio prazo.

b) Elaboração do plano de médio prazo

A elaboração do plano de médio prazo é a atividade de maior importância nesta fase, onde as metas apresentadas no plano mestre são segmentadas em pacotes de trabalho detalhados. As informações referentes ao detalhamento dos pacotes de trabalho são provenientes da Estrutura Analítica de Partição do Projeto e do zoneamento da obra elaborados na fase de preparação do processo de planejamento.

O plano mestre elaborado na fase anterior compreendia a execução de toda a obra, já o plano de médio prazo deve ter um horizonte de planejamento mensal. Isto significa que mensalmente, preferencialmente na última semana de cada mês, com base nos resultados obtidos do controle dos planos de curto prazo e dos pacotes de trabalho efetivamente executados deve ser elaborado o plano de médio prazo para o mês seguinte.

Podem ser utilizadas várias técnicas para a elaboração do plano de médio prazo, como por exemplo, o diagrama de Gantt ou as redes de precedência, com maior grau de detalhamento que no plano mestre. Face às condicionantes apresentadas anteriormente para a aplicação das redes de precedência optou-se por escolher outra técnica para elaboração do plano de médio prazo. Esta metodologia propõe que seja utilizada uma planilha desenvolvida com base no diagrama de Gantt mais detalhado que o do plano mestre e que considere as restrições para execução dos pacotes de trabalho.

Na Figura 25 está representado o exemplo da planilha proposta para elaboração do plano de médio prazo com os componentes que devem ser incluídos na mesma. A planilha foi elaborada no programa Microsoft Excel.

Na parte superior da planilha devem ser preenchidas as informações gerais da obra, como nome da obra, localização e engenheiro responsável pela execução da mesma. Também devem constar informações das datas e responsáveis pela elaboração e revisão das informações que integram a planilha, bem como, a data e o número de revisão da programação.

No corpo da planilha, na primeira coluna estão representadas as atividades principais e a sua decomposição em pacotes de trabalho. Nas colunas seguintes estão representadas as quatro semanas de trabalho com a indicação da data de início da semana. As semanas são divididas em dias, considerando apenas os dias úteis de trabalho (de segunda a sexta-feira). Para cada pacote de trabalho deve ser assinalada a sua duração com uma marcação nos dias correspondentes ao período de execução do mesmo. A duração dos pacotes de trabalho deve ser dimensionada com base na capacidade produtiva das equipes de produção.

Figura 25 - Exemplo de planilha para a elaboração do plano de médio prazo.

Logotipo da empresa	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO MENSAL					Obra:					Elaborado em:					Data:					
						Local:					Alterado em:										
						Engenheiro(a):					Alterado por:					Revisão n.º					
PACOTES DE TRABALHO	SEMANA 1 (dia/mês/ano)					SEMANA 2 (dia/mês/ano)					SEMANA 3 (dia/mês/ano)					SEMANA 4 (dia/mês/ano)					RESTRIÇÕES
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	
Atividade 1:																					
Pacote de trabalho 1.1																					
Pacote de trabalho 1.2																					
Pacote de trabalho 1.3																					
...																					
Atividade 2:																					
Pacote de trabalho 2.1																					
Pacote de trabalho 2.2																					
Pacote de trabalho 2.3																					
...																					
Atividade 3:																					
Pacote de trabalho 3.1																					
Pacote de trabalho 3.2																					
...																					
...																					
Arquivo:					Aprovação responsável:					Aprovação diretoria:											

Fonte: A autora.

Na última coluna devem ser descritas as restrições referentes a cada pacote de trabalho. Restrições podem ser definidas como recursos (mão de obra, materiais, equipamentos) ou informações (especificações, projetos, entre outras) necessárias para a execução dos pacotes de trabalho. As restrições devem ser antecipadamente analisadas e suprimidas pelo engenheiro da obra ou terceiros, uma vez que a sua remoção em tempo inadequado causa atrasos na execução dos pacotes de trabalho.

Por fim, no rodapé da planilha devem ser registradas as informações referentes ao arquivo, especificamente o nome do arquivo digital e o caminho na base de dados da empresa para facilitar o acesso à planilha. Também devem constar as assinaturas referentes às aprovações do responsável pela elaboração do plano de médio prazo e da diretoria da empresa.

c) Programação de recursos classes 2 e 3

No planejamento de longo prazo foi realizada a programação de recursos classe 1. Já a programação de recursos no planejamento de médio prazo visa a disponibilização dos recursos classe 1, 2, 3 no canteiro de obra. Os recursos classe 2 são caracterizados por terem um ciclo de aquisição inferior a 30 dias, por uma média frequência de repetição deste ciclo, onde a aquisição é realizada em frações da quantidade total do recurso. Os recursos classe 3 têm um pequeno ciclo de aquisição, normalmente semanal e alta repetitividade.

Normalmente a mão de obra é considerada como recurso de classe 1, uma vez que tem longo período de aquisição, superior a 30 dias. No entanto, caso ocorram desvios no prazo da execução da obra, podem ser tomadas medidas corretivas que passem pela contratação de novos funcionários para integrar as equipes executantes. Nesse caso a mão de obra pode ser considerada um recurso de classe 2, através da contratação emergencial que tenha ciclo de aquisição inferior a 30 dias.

No caso específico dos recursos classe 3, apesar do seu ciclo de aquisição ser semanal, os mesmos foram incluídos no planejamento de médio prazo e não no de curto prazo, de forma a evitar que sejam comprados e disponibilizados durante a semana de trabalho na qual esses recursos serão necessários. Este procedimento minimiza os efeitos da incerteza associada ao tempo necessário para a entrega de recursos na obra.

A programação destes recursos no planejamento de médio prazo evita a descontinuidade do plano de curto prazo por falta de recursos, ou seja, caso haja uma restrição relativa a determinado recurso, o pacote de trabalho não deve ser incluído nesse plano. Desta forma, com base no plano de médio prazo mensal devem ser identificadas as datas limite para fornecimentos dos recursos necessários para atender à execução dos pacotes de trabalho especificados para esse horizonte temporal.

A programação dos recursos classe 2 e 3 pode ser elaborada na planilha proposta para a programação dos recursos classe 1, conforme representado na Figura 23. O preenchimento da planilha deve seguir as mesmas indicações apresentadas anteriormente. Contudo, no corpo da planilha devem ser preenchidas as informações referentes às necessidades de todos os recursos classe 1, 2 e 3 com a indicação das datas-marco limite para fornecimento desses recursos.

d) Divulgação de informações

Na posse do plano de médio prazo e da programação de recursos deve ser feita a divulgação de informações dentro da empresa de acordo com as necessidades dos usuários. O plano de médio prazo deve divulgado aos responsáveis pela elaboração do plano de curto prazo.

Da mesma forma que no planejamento de longo prazo, a programação de recursos deve ser encaminhada formalmente para os setores responsáveis pela aquisição dos mesmos, seja o departamento de recursos humanos ou o departamento de suprimentos. Os departamentos devem verificar as datas limite indicadas para fornecimento dos recursos ao canteiro de obra.

e) Contratação de recursos

Esta atividade compreende a contratação de recursos classe 2 e 3. No caso específico da mão de obra, o processo de contratação de novos funcionários foi iniciado na fase de planejamento de longo prazo, principalmente devido à duração de todo o procedimento. No entanto, nesta fase deve ser aferido o andamento do

processo de contratação de forma a atender aos prazos estipulados na programação de médio prazo.

Em relação à contratação dos outros recursos classe 2 e 3, na posse da programação e do plano de médio prazo, os mesmos devem ser comprados ou alugados, de acordo com as datas estabelecidas para médio prazo.

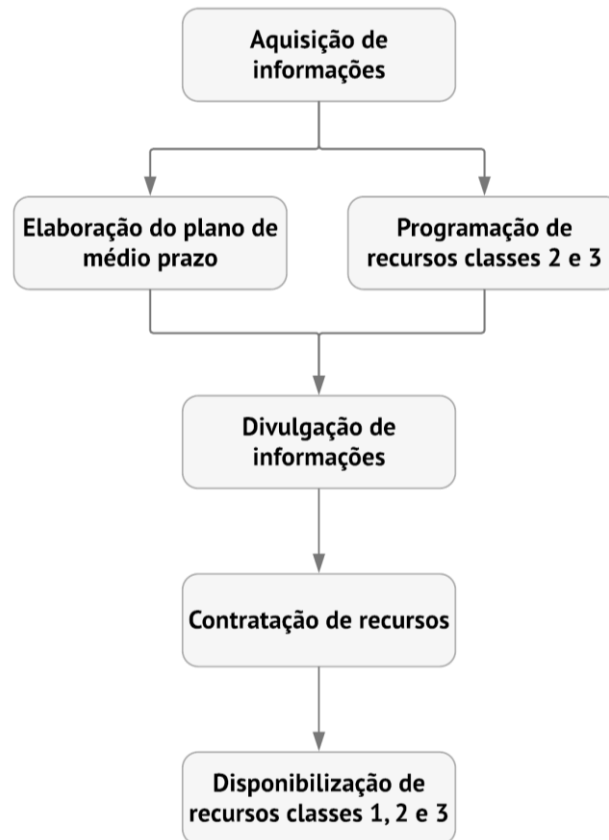
f) Disponibilização de recursos classes 1, 2 e 3

Compreende o processo de rastreamento dos recursos adquiridos nas atividades precedentes pelos departamentos responsáveis. Nesta atividade ocorre também a entrega e a conferência dos recursos no canteiro de obra.

A verificação da conformidade dos recursos pode ser realizada pelo engenheiro ou pelo encarregado responsável pela obra. Caso exista alguma divergência entre o material entregue e as especificações técnicas de projeto, os departamentos responsáveis pela compra devem ser notificados, de forma a tomar as devidas providências. Apesar da verificação e notificação serem feitas a partir do canteiro de obras, esta atividade é da responsabilidade do departamento de suprimentos que deve garantir a disponibilização dos recursos solicitados na obra nos prazos previstos na programação de recursos.

Na Figura 26 são apresentadas as atividades que compõem o planejamento de médio prazo, conforme descrito anteriormente.

Figura 26 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de médio prazo.



Fonte: A autora.

4.1.2.3 Planejamento de Curto Prazo

Após conclusão do planejamento de médio prazo é iniciado o terceiro nível hierárquico de planejamento de curto prazo, também denominado planejamento operacional ou de comprometimento. O planejamento de curto prazo visa proteger a produção contra os efeitos da incerteza, através da atribuição de pacotes de trabalho que sejam realistas, executáveis e tenham tido as suas restrições analisadas e removidas no plano de médio prazo. O responsável pelo desenvolvimento desta fase é o engenheiro da obra, que deve ser auxiliado pelo encarregado de obra.

O objetivo desta fase é orientar a execução da obra com a especificação dos pacotes de trabalho definidos no plano de médio prazo. Para atender a estes objetivos devem ser realizadas várias atividades descritas em seguida e compiladas no fluxograma da Figura 28.

a) Aquisição de informações

Compreende a coleta de informações provenientes do plano de médio prazo, bem como, do plano de curto prazo e dos resultados dos indicadores de desempenho obtidos no ciclo anterior. Na posse destas informações pode ser elaborado o plano de curto prazo. Também devem ser consideradas as informações dos indicadores de desempenho resultantes do controle dos planos de curto prazo de ciclos anteriores, nomeadamente percentual de planejamento concluído (PPC), causas de não cumprimento das metas e erros na entrega dos materiais.

b) Elaboração do plano de curto prazo

O plano de curto prazo apresenta maior grau de detalhamento e deve ser elaborado seguindo os requisitos da proteção da produção contra os efeitos da incerteza. Para atender a estes requisitos, os pacotes de trabalho especificados devem ser executáveis, devem ter as suas restrições removidas e devem ser analisadas as causas pelas quais as tarefas programadas anteriormente não foram cumpridas. Além disso, os pacotes de trabalho devem ser sequenciados de forma a atender à continuidade das tarefas sucessivas e devem ser dimensionados de acordo com a capacidade produtiva das equipes de trabalho.

No plano de curto prazo também devem estar previstos pacotes de trabalho de reserva, que não são prioritários, mas visam garantir a continuidade da obra, seja por baixa/alta produtividade, por atrasos na entrega dos recursos necessários para as tarefas prioritárias ou outras causas.

O plano mestre compreende a execução de toda a obra, o plano de médio prazo deve ser feito mensalmente, já o plano de curto prazo deve ter um horizonte de planejamento semanal. Isto significa que semanalmente, no final da semana, com base nos resultados obtidos do controle do plano de curto prazo dessa semana, dos pacotes de trabalho efetivamente executados e das atividades previstas no plano de médio prazo deve ser elaborado o plano de curto prazo para a semana seguinte.

Para a elaboração do plano de curto prazo, esta metodologia propõe que seja utilizada uma planilha desenvolvida no programa Microsoft Excel utilizando o sistema *last planner*. O sistema *last planner* visa proteger a produção contra a incerteza considerando as características e requisitos apresentados anteriormente.

Na Figura 27 está representado o exemplo da planilha proposta para elaboração do plano de curto prazo com os componentes que devem ser incluídos na mesma.

No cabeçalho da planilha devem ser preenchidas as informações gerais da obra, como nome da obra, localização, engenheiro e encarregado responsáveis pela execução da mesma. Constam informações das datas e responsáveis pela elaboração e revisão das informações que integram a planilha, bem como a data e o número de revisão da programação. Também deve ser apresentada a data de início e término da semana a que se refere o plano e o cálculo do percentual de planejamento concluído (PPC), que é o indicador que mede a eficácia do plano de curto prazo.

No corpo da planilha, na primeira coluna deverão ser preenchidos os pacotes de trabalho planejados para a semana a que se refere o plano de curto prazo. Na segunda e terceira colunas estão as informações do local de execução e da equipe designada para a execução do respectivo pacote de trabalho.

Durante a reunião para divulgação do plano de curto prazo poderão ocorrer ajustes nas metas definidas, sejam estas alterações referentes à inclusão/exclusão de pacotes de trabalho, ou aos ritmos previstos para realização dos mesmos. Desta forma, na quarta coluna existe um campo para assinatura do encarregado após confirmação da efetiva inclusão do pacote de trabalho, nos dias previstos no plano semanal.

Nas colunas seguintes estão representadas os dias da semana, com inclusão de sábado e domingo. Apesar destes dias não terem sido considerados no plano de longo e médio prazo, caso ocorram desvios na produção de curto prazo, os mesmos podem ser utilizados para execução dos pacotes de trabalho na semana prevista. Para cada pacote de trabalho especificado deve ser assinalado o período previsto para execução, na linha do planejado. Na linha abaixo (executado) deve ser assinalado o período em que o pacote foi realmente executado. Na coluna seguinte deve ser colocada a percentagem executada. Caso o pacote não seja 100% executado no final da semana, deve ser estimada a percentagem efetivamente executada. Estas informações são utilizadas para o cálculo do percentual de planejamento concluído (PPC) que consta no cabeçalho da planilha. Na última coluna devem ser descritas as causas de não cumprimento do pacote de trabalho.

Figura 27 - Exemplo de planilha *last planner* para a elaboração do plano de curto prazo (P – planejado; E – executado).

Logotipo da empresa	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra:						Elaborado em:			Data:	
			Local:						Elaborado por:				
			Engenheiro(a):						Alterado em:			Revisão n.º	
			Encarregado:						Alterado por:				
Semana de ___/___/___ a ___/___/___			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = \text{_____}$										
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO
Pacote de trabalho 1				P									
				E									
Pacote de trabalho 2				P									
				E									
Pacote de trabalho 3				P									
				E									
Pacote de trabalho 4				P									
				E									
...				P									
				E									
...				P									
				E									
Pacote de trabalho reserva 1				P									
				E									
Pacote de trabalho reserva 2				P									
				E									
...				P									
				E									
Arquivo:			Aprovação engenheiro:						Aprovação encarregado:				

Fonte: A autora.

Por fim, no rodapé da planilha devem ser registradas as informações referentes ao arquivo, especificamente o nome do arquivo digital e o caminho na base de dados da empresa para facilitar o acesso à planilha. Também devem constar as assinaturas referentes às aprovações finais do engenheiro e do encarregado responsáveis pela obra. A aprovação final só deve ser feita após a assinatura do encarregado na coluna Visto, referente a cada pacote de trabalho.

c) Divulgação do plano de curto prazo

O plano de curto prazo deve ser divulgado para os principais envolvidos no processo de produção. Inicialmente deve ser realizada uma reunião para apresentação e discussão do plano de curto prazo, entre o engenheiro de obra, o encarregado, os chefes de equipes, bem como os responsáveis dos subempreiteiros (caso existam subempreiteiros na obra). Na reunião também devem ser apresentados os resultados provenientes das avaliações periódicas dos indicadores de desempenho, com o objetivo de identificar e implementar ações corretivas contra as causas de não cumprimentos dos planos.

Posteriormente as metas devem ser transmitidas verbalmente para as equipes de trabalho pelo encarregado e chefes de equipes.

d) Alocação de recursos classes 1, 2 e 3

Consiste na alocação dos recursos classes 1, 2 e 3 nos postos de trabalho designados para cada equipe de trabalho de acordo com os pacotes de trabalho previstos no plano de curto prazo.

e) Execução da obra

Compreende a execução diária da obra seguindo os pacotes de trabalho especificados no plano de curto prazo, bem como nas diretrizes definidas na preparação do processo de planejamento.

Durante a execução da obra devem ser realizadas reuniões com o cliente, com o objetivo do mesmo acompanhar regularmente o desenvolvimento dos trabalhos.

Desta forma, as exigências e os requisitos dos clientes poderão ser melhor atendidos pela empresa executante. Se necessário, os projetistas deverão participar nessas reuniões para esclarecimento de dúvidas referentes aos procedimentos executivos.

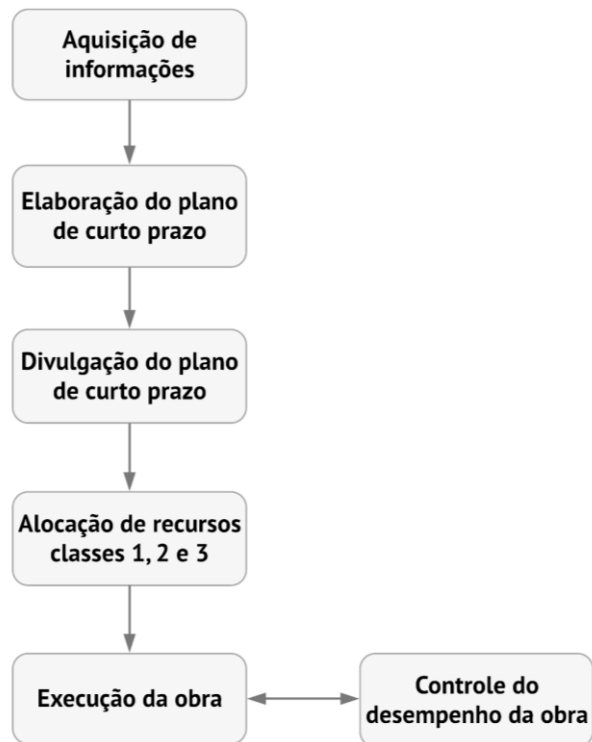
f) Controle do desempenho da obra

O controle da obra é desenvolvido durante a sua execução, através da coleta de indicadores de desempenho. Os resultados provenientes destes indicadores devem ser analisados no curto prazo em tempo hábil, o que promove a implementação de medidas corretivas adequadas às causas de desvio dos planos e tornam o processo de decisão mais confiável e transparente. A análise destes resultados também visa a elaboração dos planos de curto e médio prazo futuros, adequando-os à capacidade produtiva das equipes de trabalho.

Deve ser elaborado um relatório de controle de obra para promover o processo de aprendizagem de todos os responsáveis envolvidos nas etapas de elaboração dos planos de longo, médio e curto prazo. Este procedimento confere maior visibilidade e transparência ao processo de análise de desempenho da obra. Uma vez que a elaboração do relatório deve ser realizada pelo engenheiro da obra, que acumula diversas funções de controle, o mesmo deve ter periodicidade mensal.

Na Figura 28 são apresentadas as atividades que compõem o planejamento de curto prazo.

Figura 28 - Fluxograma das atividades que compõem o planejamento de curto prazo.



Fonte: A autora.

4.1.3 Avaliação do processo

A última etapa desta metodologia consiste na avaliação do processo de PCP que deve ser realizada no final da obra ou durante a execução da mesma, em períodos estabelecidos na preparação do processo. Caso a obra apresente grandes desvios em relação ao planejado deve ser feita uma avaliação emergencial de forma a serem tomadas medidas corretivas urgentes. O responsável pelo desenvolvimento desta etapa é o engenheiro da obra.

A avaliação tem como objetivos auxiliar na tomada de decisão, na implementação de medidas corretivas e ações de melhoria contínua para obras futuras. Para atender a estes objetivos devem ser realizadas as duas atividades descritas em seguida.

a) Identificação de problemas

Esta atividade consiste na identificação dos problemas que ocorreram durante a elaboração do planejamento e na execução da obra. O engenheiro da obra deve

elaborar um relatório geral, com a compilação dos resultados provenientes do controle da produção feito através dos indicadores de desempenho coletados durante e no final da obra. Este relatório pode ser elaborado com base nos relatórios mensais provenientes do planejamento de curto prazo, mas deve dar enfoque nas principais razões dos desvios da obra.

Apesar do engenheiro da obra ser o principal responsável por esta fase, para auxiliar na identificação dos problemas deve ser realizada uma reunião com todos os participantes envolvidos no processo global, como o diretor técnico, encarregado, chefes de equipes, subempreiteiros e principais fornecedores de materiais. O cliente ou seus representantes também podem ser convidados para participarem na reunião, uma vez que constituem intervenientes extremamente importantes no processo de avaliação.

Durante a reunião devem ser analisados e discutidos os resultados compilados no relatório geral da obra, o que auxilia no processo de tomada de decisões na escolha de alternativas e promove a implementação de ações de melhoria que visam mitigar as causas pelas quais ocorreram desvios na execução da obra.

b) Desenvolvimento de alternativas

Identificados os problemas e as principais causas, devem ser desenvolvidas alternativas e medidas corretivas a serem implementadas nos empreendimentos futuros ou ainda durante a execução da obra, caso esta ainda não tenha sido finalizada. Durante a reunião devem ser discutidas essas alternativas com todos os participantes.

A implementação de ações corretivas para as causas de não cumprimento dos planos promove a melhoria contínua do processo, evitando que ocorra a repetição de erros semelhantes que levam a perdas desnecessárias de mão de obra, materiais, equipamentos ou outros recursos financeiros.

4.1.4 Indicadores de desempenho

Nesta etapa da metodologia serão apresentados os indicadores de desempenho que deverão ser medidos durante a execução ou no final da obra. Os indicadores visam o controle do desempenho da produção, segundo a sua eficiência

e eficácia. O controle da eficiência promove o uso racional dos recursos utilizados na obra o que evita perdas desnecessárias. O controle da eficácia resulta no atendimento das metas definidas o que corrige ou evita desvios entre o planejado e a realidade.

A coleta de indicadores de desempenho durante a execução da obra proporciona a obtenção de informações qualitativas e quantitativas que podem ser analisadas e avaliadas visando a implementação de ações corretivas antecipadas para atendimento das metas estabelecidas em contrato.

No caso dos indicadores coletados no final da obra, os mesmos têm como objetivo a avaliação do desempenho global da obra. Estas medidas visam aprimorar o processo de aprendizagem com base nos resultados obtidos e auxiliam na tomada de decisão e na melhoria contínua da empresa.

A utilização de indicadores de desempenho, bem como a sua divulgação para todos os envolvidos no planejamento e controle da obra aumenta a transparência do processo de produção. Além disso, os resultados obtidos por meio de indicadores de desempenho promovem o *benchmarking*, ou seja, a comparação com resultados obtidos por outras empresas ou com outros valores de referência no mercado. Esta comparação tem como objetivo a melhoria contínua da empresa, uma vez que promove a adoção de métodos ou tecnologias de produção mais eficientes e eficazes, levando em conta as melhores práticas existentes no mercado.

Atualmente não existem valores de referência de *benchmark* registrados para obras de Engenharia Natural o que, no entanto, não impede a adoção deste sistema, tendo em vista a sua divulgação e utilização futura.

O conjunto de indicadores de desempenho propostos na presente metodologia foram selecionados considerando, como principais critérios: a simplicidade devido à elevada frequência dos ciclos de controle e da grande quantidade de informações que constam no processo de planejamento; a avaliação da consistência entre níveis hierárquicos, por exemplo, através da verificação da eficácia do plano de médio prazo; a inclusão de indicadores que avaliem os resultados do processo, bem como indicadores que avaliem onde estão os problemas nos processos; e por fim a avaliação de outros processos da organização.

A seguir serão apresentados os catorze indicadores de desempenho especificados nesta metodologia para controle de obras de Engenharia Natural. Para cada indicador proposto são apresentadas as informações referentes ao objetivo do

indicador, como este se insere no processo de produção, o roteiro para o seu cálculo, critérios de coleta e as diretrizes para a sua análise.

A. Percentual de planejamento concluído

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a eficácia do processo de planejamento e controle da produção, nomeadamente a qualidade do plano de curto prazo; • Identificar problemas na execução de tarefas e orientar a implementação de ações; • Apresentar o percentual de tarefas executadas em relação ao total de tarefas programadas semanalmente; • Também pode ser utilizado para verificar o percentual de planejamento concluído para subempreiteiros.
Inserção no processo	<p>Coletado semanalmente na planilha <i>last planner</i> de curto prazo (Figura 27) no final da semana a que diz respeito a programação. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra.</p>
Roteiro de cálculo	$PPC = \frac{PT_{100\% \text{ concluídos}}}{PT_{total}} \times 100$
Critérios de coleta	<p>PT_{100% concluídos} - Número de pacotes de trabalho planejados 100% concluídos;</p> <p>PT_{total} - Número total de pacotes de trabalho planejados.</p>
Diretrizes para análise	<p>Resultados inferiores a 100% representam falhas no processo de planejamento ou ocorrência de causas não previstas. No entanto, mesmo quando este valor de eficácia é atingido, não significa que a produção apresente a eficiência ótima, uma vez que este indicador não analisa a eficiência com que as tarefas foram realizadas, ou seja, se houve uma utilização racional dos recursos. Desta forma, deve ser feita uma análise crítica qualitativa e quantitativa dos resultados obtidos para o PPC.</p>

B. Causas de não cumprimento dos planos

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Identificar as razões pelas quais as metas programadas no plano de curto prazo não foram atingidas.
Inserção no processo	Coletado semanalmente na planilha <i>last planner</i> de curto prazo (Figura 27) no final da semana a que diz respeito a programação. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra.
Roteiro de cálculo	-
Critérios de coleta	Devem ser identificadas todas as causas pelos quais cada pacote de trabalho não foi executado ou concluído.
Diretrizes para análise	Este indicador está associado diretamente ao PPC. Todas as causas identificadas de não cumprimento dos pacotes de trabalho semanais devem ser alvo de análise, e posteriormente devem ser tomadas ações corretivas para evitar a sua recorrência e melhorar a eficácia da obra. Preferencialmente deve ser realizado um gráfico para avaliar a frequência das causas.

C. Índice de erros na entrega dos materiais

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar a eficácia e a confiabilidade dos fornecedores e do departamento de suprimentos em relação à entrega de materiais para a obra, nas especificações técnicas, quantidades e prazos definidos.
Inserção no processo	Coletado mensalmente no final do mês a que diz respeito a programação. Deve ser coletado pelo responsável do departamento de suprimentos em conjunto com o engenheiro ou encarregado responsáveis pela obra. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$Iem = \frac{\sum NE}{\sum NL} \times 100$

Critérios de coleta	<p>NE - Número de lotes de materiais entregues irregularmente ou não conformes. São considerados erros ou não conformidades na entrega dos materiais: fornecimento num período superior ao programado (ou fora da data prevista); diferenças de quantidade ou especificação técnica entre o material solicitado e o material entregue na obra; erros na documentação que acompanha o material e que dificultem a conferência do material;</p> <p>NL - Número total de lotes entregues.</p>
Diretrizes para análise	<p>Se houver um número muito elevado de lotes entregues irregularmente ou não conformes, os prazos e produtividade da obra podem ser afetados. Neste caso, deve ser verificada a origem destes problemas com os fornecedores e com o departamento de suprimentos. Os erros na entrega dos materiais podem ocorrer por problemas internos da empresa (atrasos na solicitação para compra de recursos, demora no processo de compra ou quantidades ou especificações técnicas erradas) ou problemas dos fornecedores (atrasos na entrega ou fornecimento nas quantidades ou especificações técnicas erradas). A compreensão da origem do problema promove a tomada de medidas corretivas.</p>
D. Percentual de atividades iniciadas no prazo	
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Indicar a percentagem de atividades que tiveram início no prazo programado em relação ao número total de tarefas planejadas; • Avaliar a eficácia do planejamento tático de médio prazo, ou seja, a consistência entre o plano de médio e curto prazo.
Inserção no processo	<p>Coletado mensalmente no final do mês a que diz respeito a programação. Deve ser compilado a partir das planilhas <i>last planner</i>, uma vez que as tarefas iniciadas no prazo são identificadas nos planos semanais e no plano mensal. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.</p>

Roteiro de cálculo	$PAIP = \frac{A_{ip}}{A_{total}} \times 100$
Critérios de coleta	<p>A_{ip} - Quantidade de tarefas programadas a médio prazo que foram incluídas no planejamento a curto prazo e iniciadas no período previsto. Como tarefa iniciada no período previsto entende-se uma tarefa que iniciou na semana em que foi planejada;</p> <p>A_{total} - Quantidade total de atividades programadas a médio prazo para esse período.</p>
Diretrizes para análise	Os resultados obtidos com este indicador devem ser avaliados em conjunto com as causas de não cumprimento do plano de curto prazo e com o índice de erros na entrega dos materiais. Desta forma é possível analisar as causas dos atrasos no início das atividades. Pode haver casos em que o indicador apresenta bons resultados quanto à eficácia do planejamento tático de médio prazo, mas a obra pode estar atrasada. Isto acontece quando existe falta de consistência entre os planos de médio e curto prazo.
E. Percentual de atividades concluídas na duração prevista	
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Indicar a percentagem de atividades concluídas na duração prevista em relação ao número total de tarefas planejadas para esse período; • Avaliar a eficácia do planejamento de médio prazo por meio do grau de exatidão na duração das atividades programadas.
Inserção no processo	Coletado mensalmente no final do mês a que diz respeito a programação. Deve ser coletado a partir das planilhas <i>last planner</i> , uma vez que as tarefas concluídas no prazo são apresentadas nos planos semanais e do plano mensal. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$PADP = \frac{A_{cdp}}{A_{total}} \times 100$

Critérios de coleta	<p>A_{cdp} - Quantidade de tarefas programadas a médio prazo concluídas na duração prevista;</p> <p>A_{total} - Quantidade total de atividades programadas a médio prazo para esse período.</p>
Diretrizes para análise	<p>Os resultados obtidos com este indicador devem ser avaliados em conjunto com as causas de não cumprimento dos planos de curto prazo e com o índice de erros na entrega dos materiais. Desta forma é possível analisar as causas dos atrasos na execução das atividades.</p>

F. Projeção do atraso da obra

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Realizar a projeção do prazo da obra com base no atraso (ou adiantamento) e no ritmo das atividades em execução.
Inserção no processo	<p>Coletado bi ou trimestralmente no mês em que é feita a revisão do plano mestre de longo prazo. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.</p>
Roteiro de cálculo	$PA = \frac{(\sum S_{at} D_t - \sum S_{ad} D_t)}{(\sum D_t)}$
Critérios de coleta	<p>S_{at} - Número de semanas atrasadas de uma tarefa, ou seja, o tempo entre a data planejada da execução da atividade e a data efetiva de execução da mesma;</p> <p>S_{ad} - Número de semana antecipadas de uma tarefa, ou seja, o tempo entre a data planejada da execução da atividade e a data efetiva de execução da mesma (antecipada em relação ao planejado);</p> <p>D_t - Duração total da atividade, ou seja, o tempo total de duração de uma atividade, conforme especificado no planejamento.</p>
Diretrizes para análise	<p>Resultados positivos indicam que a obra está atrasada, enquanto resultados negativos mostram que a obra está adiantada em</p>

relação ao planejado. Resultados próximos de zero significam que a obra está a ser executada de acordo com o previsto no planejamento. No caso de obras de curta duração, por exemplo, um ou dois meses, este indicador não é adequado, uma vez, que as tarefas dessas obras devem ser geridas em prazos mais curtos do que o especificado para este indicador.

G. Desvio do custo parcial da obra

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar o desempenho parcial da obra em execução com base na relação entre o custo previsto e o custo real para determinado período.
Inserção no processo	Coletado bi ou trimestralmente no mês em que é feita a revisão do plano mestre de longo prazo. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$DC = \frac{C_{real} - C_{orç}}{C_{orç}} \times 100$
Critérios de coleta	C_{real} – Custo real da execução da obra para determinado período; $C_{orç}$ - Custos obtidos a partir do orçamento contratual da obra para as atividades realizadas em determinado período.
Diretrizes para análise	Resultados positivos indicam que a obra apresenta custos parciais superiores ao previsto, enquanto resultados negativos mostram que a obra tem custos parciais inferiores aos orçados. Devem ser analisados os fatores que ocasionaram o aumento parcial dos custos.

H. Desvio do custo da obra

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar o desempenho da obra concluída com base na relação entre o custo previsto e o custo real.
-----------------	---

Inserção no processo	Coletado no final da obra. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra, pelo departamento de orçamentos e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$DC = \frac{C_{real} - C_{orç}}{C_{orç}} \times 100$
Crítérios de coleta	C_{real} – Custo real da execução da obra; $C_{orç}$ - Custo obtido a partir do orçamento contratual da obra.
Diretrizes para análise	Resultados positivos indicam que a obra teve custo superior ao previsto, enquanto resultados negativos mostram que a obra teve custo inferior ao orçado.

A técnica da gestão de valor agregado (GVA) normalmente é utilizada para a avaliação dos custos da obra, uma vez que os indicadores de custo podem não refletir a realidade da produção, visto que não consideram as diferenças entre custo orçado e custo real em relação ao que foi produzido. No entanto, durante o desenvolvimento desta metodologia verificou-se que a técnica de GVA é complexa, requer experiência e disponibilidade de tempo por parte do responsável pela sua implementação e controle dentro da organização. Dificilmente uma empresa de pequeno porte tem um engenheiro responsável apenas pelo planejamento. Esta condicionante associada ao fato que a introdução de uma nova metodologia para planejamento e controle da produção, que demanda tempo e dedicação do engenheiro responsável pela obra, condiciona a implantação do método GVA de forma eficiente. Uma implantação precária pode resultar em projeções futuras insatisfatórias e não confiáveis para avaliação do processo. Face a estas condicionantes optou-se por retirar a técnica de GVA da metodologia proposta e manter apenas os indicadores de desvio de custo da obra. Quando o PCP estiver consolidado dentro da organização, o método GVA poderá ser implementado de forma complementar às informações resultantes dos indicadores de custo.

I. Desvio do prazo da obra

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar o desempenho da obra concluída com base na relação entre o prazo previsto e o prazo real.
-----------------	---

Inserção no processo	Coletado no final da obra. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$DP = \frac{P_{real} - P_{prev}}{P_{prev}} \times 100$
Critérios de coleta	P_{real} – Prazo real da execução da obra, em dias, ou seja, o tempo entre a mobilização contínua dos trabalhadores no canteiro e a desmobilização desses trabalhadores no término da obra; P_{prev} – Prazo estabelecido no contrato para conclusão da obra.
Diretrizes para análise	Resultados positivos indicam que a obra foi realizada num prazo superior ao previsto, enquanto resultados negativos mostram que a obra foi executada num prazo inferior ao planejado.

J. Produtividade por serviços

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Obter os índices de produtividade da mão de obra para determinado serviço (ou técnica), que posteriormente podem ser utilizados para o orçamento e a programação de outras obras com procedimentos semelhantes.
Inserção no processo	Coletado no final da obra. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$I_{prod} = \frac{HH}{Q_{ser}}$
Critérios de coleta	HH - Número total de horas trabalhadas para execução do serviço ou parte dele. Devem ser consideradas as horas de todos os operários envolvidos na execução do serviço; Q_{ser} - Quantidade de serviço produzida seguindo o especificado em projeto.
Diretrizes para análise	Normalmente, quanto menor o resultado do indicador melhor a produtividade, mas esses resultados dependem da especificidade de cada serviço.

K. Indicador de não conformidade

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a conformidade dos serviços com base em listas de verificação; • Identificar as causas que originaram as não conformidades; • Melhorar a qualidade dos serviços prestados.
Inserção no processo	Coletado no final da obra antes da entrega para o cliente. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$INC = \frac{\sum N_{NC}}{\sum N_V} \times 100$
Critérios de coleta	N_{NC} - Número de não conformidades encontradas; N_V - Número de verificações efetuadas.
Diretrizes para análise	Este indicador mostra as falhas no processo produtivo e por isso a avaliação deve ser rigorosa de forma a melhorar a qualidade dos serviços produzidos. As informações obtidas devem ser repassadas para as equipes de produção na obra, de forma a que se façam as correções necessárias antes da entrega final para o cliente.

L. Indicador de sobrevivência das plantas

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Medir a taxa de sobrevivência das espécies vegetais implantadas por técnica de intervenção; • Melhorar o desempenho relacionado com os procedimentos de plantio, armazenamento e transporte das plantas.
Inserção no processo	Coletado no final da obra antes da entrega para o cliente e durante o período de garantia da obra. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e encarregado.
Roteiro de cálculo	$IS = \frac{N_s}{N_{total}} \times 100$

Critérios de coleta	N_s - Número de plantas vivas por técnica executada; N_{total} - Número total de plantas por técnica executada.
Diretrizes para análise	Quanto mais próximo de 100% o resultado, melhor o desempenho dos procedimentos utilizados. O valor mínimo admissível para este indicador deve ser definido pelo cliente no contrato. Valores abaixo dos admissíveis originam perdas (materiais, mão de obra, entre outros) por retrabalho. Devem ser avaliadas as causas dos resultados obtidos e posteriormente devem ser definidas ações corretivas no processo para eliminar ou diminuir essas causas em obras futuras.

M. Indicador de retrabalho

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Medir as horas realizadas com serviços de retrabalho para correção de erros, não conformidades, omissões no projeto ou mudanças nos serviços programados.
Inserção no processo	Coletado no final da obra antes da entrega para o cliente. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.
Roteiro de cálculo	$IR = \sum \text{Retrabalho}$
Critérios de coleta	Retrabalho – Total de horas gastas em serviços de retrabalho.
Diretrizes para análise	Uma vez que os retrabalhos são responsáveis por perdas (produtividade e materiais) devem ser analisadas as causas que geraram os retrabalhos. Também devem ser avaliados os custos associados a esses retrabalhos (mão de obra, materiais, máquinas, entre outros). Posteriormente devem ser definidas ações corretivas no processo para eliminar ou diminuir essas causas.

N. Indicador de satisfação do cliente

Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer a opinião do cliente sobre a qualidade dos serviços prestados pela empresa; • Identificar as falhas e sucessos no desempenho da obra. 												
Inserção no processo	Coletado no final da obra depois da entrega para o cliente. A análise deve ser realizada pelo engenheiro responsável da obra e pela direção da empresa.												
Roteiro de cálculo	$I_{sc} = \frac{\sum(fi \times pi)}{\sum fi}$												
Critérios de coleta	<p>Para realizar o cálculo deste indicador deve ser aplicado um questionário, no qual o cliente assinala o seu nível de satisfação nos diferentes itens listados. O questionário é dividido em três partes: A - relacionamento com o cliente, B - serviços técnicos e C - avaliação geral.</p> <table data-bbox="408 1077 1182 1384"> <thead> <tr> <th data-bbox="408 1077 871 1111">Nível de satisfação do cliente:</th> <th data-bbox="1078 1077 1182 1111">Pesos:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="491 1133 799 1167">MI - Muito Insatisfeito</td> <td data-bbox="1118 1133 1142 1167">0</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1189 687 1223">I - Insatisfeito</td> <td data-bbox="1118 1189 1142 1223">1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1245 999 1279">N – Nem satisfeito, nem insatisfeito</td> <td data-bbox="1118 1245 1142 1279">2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1301 679 1335">S - Satisfeito</td> <td data-bbox="1118 1301 1142 1335">3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1357 791 1391">MS - Muito Satisfeito</td> <td data-bbox="1118 1357 1142 1391">4</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="408 1413 1353 1503">fi – Frequência do nível de satisfação, ou seja, número de respostas do nível <i>i</i> de satisfação.</p>	Nível de satisfação do cliente:	Pesos:	MI - Muito Insatisfeito	0	I - Insatisfeito	1	N – Nem satisfeito, nem insatisfeito	2	S - Satisfeito	3	MS - Muito Satisfeito	4
Nível de satisfação do cliente:	Pesos:												
MI - Muito Insatisfeito	0												
I - Insatisfeito	1												
N – Nem satisfeito, nem insatisfeito	2												
S - Satisfeito	3												
MS - Muito Satisfeito	4												
Diretrizes para análise	O cálculo do indicador deve ser feito considerando o somatório separado das respostas de parte A e B do questionário. Desta forma, a empresa avalia separadamente o grau de satisfação em relação ao relacionamento com o cliente e à parte técnica. Deve ser feita a avaliação crítica de itens que apresentem grau de insatisfação, para que a empresa possa verificar as causas desses resultados e melhorar o processo. Em relação aos itens que apresentam elevado grau de satisfação é evidenciado que a solução utilizada é adequada e deve ser mantida pela empresa.												

Na Figura 29 é apresentada a proposta do questionário para avaliação do grau de satisfação do cliente. A parte A do questionário refere-se ao relacionamento entre a empresa executante e o cliente e é composta por cinco questões. A parte B refere-se aos serviços técnicos prestados pela empresa executante e é composta por nove questões. Durante o cálculo do grau de satisfação cada parte A e B, deve ser avaliada separadamente em relação ao relacionamento com o cliente e à parte técnica. A pontuação máxima obtida para cada parte do questionário é de 4 pontos, que representa que o cliente está Muito Satisfeito com os serviços prestados.

Figura 29 - Proposta de questionário para avaliação da satisfação do cliente.

Obra: Local: Cliente: Engenheiro(a):	Data:	Logotipo da empresa				
A - RELACIONAMENTO COM O CLIENTE - Como classifica o relacionamento com o cliente em relação aos seguintes aspectos:	MI	I	N	S	MS	NA
1. Cortesia: Demonstrou amabilidade no tratamento dos clientes						
2. Comunicação: Explicações aos clientes em linguagem clara						
3. Credibilidade: A empresa cumpre o prometido e é confiável						
4. Empenho na identificação e atendimento das exigências especificadas do cliente						
5. Flexibilidade no atendimento das solicitações do cliente						
B - SERVIÇOS TÉCNICOS - Como classifica o relacionamento com o cliente em relação aos seguintes aspectos:	MI	I	N	S	MS	NA
6. Demonstra conhecimento dos serviços na execução da obra						
7. Demonstra conhecimento do projeto						
8. Capacidade de propor soluções técnicas e/ou economicamente mais adequadas						
9. Cumpre as especificações técnicas dos materiais conforme previsto no projeto						
10. Os serviços apresentam a qualidade desejada						
11. Os prazos estabelecidos no contrato foram cumpridos						
12. Limpeza e organização do canteiro						
13. A obra atende às normas de segurança do trabalho						
14. As condições de higiene do canteiro de obra são adequadas						
C - AVALIAÇÃO GERAL						
15. De forma geral como se sente em relação à empresa	MI	I	N	S	MS	NA
16. Contrataria novamente a empresa para realização de novos serviços	SIM			NÃO		
Comentários ou sugestões adicionais:						

Legenda:

MI - Muito Insatisfeito; **I** - Insatisfeito; **N** – Nem satisfeito, nem insatisfeito; **S** - Satisfeito; **MS** - Muito Satisfeito

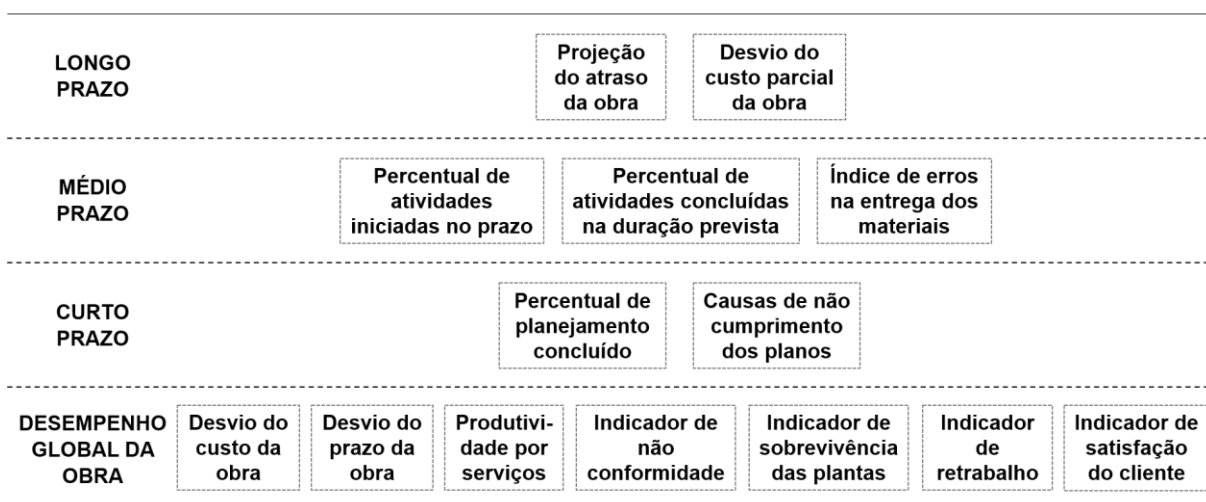
Fonte: A autora.

A parte C refere-se à avaliação geral da empresa e é composta por duas questões, que não entram no cálculo final do indicador de satisfação do cliente. Também existe um campo disponível para o cliente adicionar outros comentários ou sugestões que julgue pertinentes e não estão incluídas no questionário.

Outras questões poderão ser incluídas no questionário, no entanto, nesta metodologia optou-se por um questionário conciso, que não seja demasiado longo e cujo preenchimento seja rápido e despenda pouco tempo do cliente.

Na Figura 30 estão apresentados todos os indicadores de desempenho propostos nesta metodologia e detalhados anteriormente, com a respectiva distribuição nas etapas do planeamento e controle da produção às quais diz respeito o controle do processo.

Figura 30 - Indicadores de desempenho propostos na metodologia de planeamento e controle de produção e sua distribuição na avaliação das respectivas etapas.



Fonte: A autora.

Apesar de existirem vários indicadores de desempenho, conforme apresentado na revisão bibliográfica, são propostos nesta metodologia os que melhor se adaptam às especificidades das obras de Engenharia Natural e das empresas que as executam.

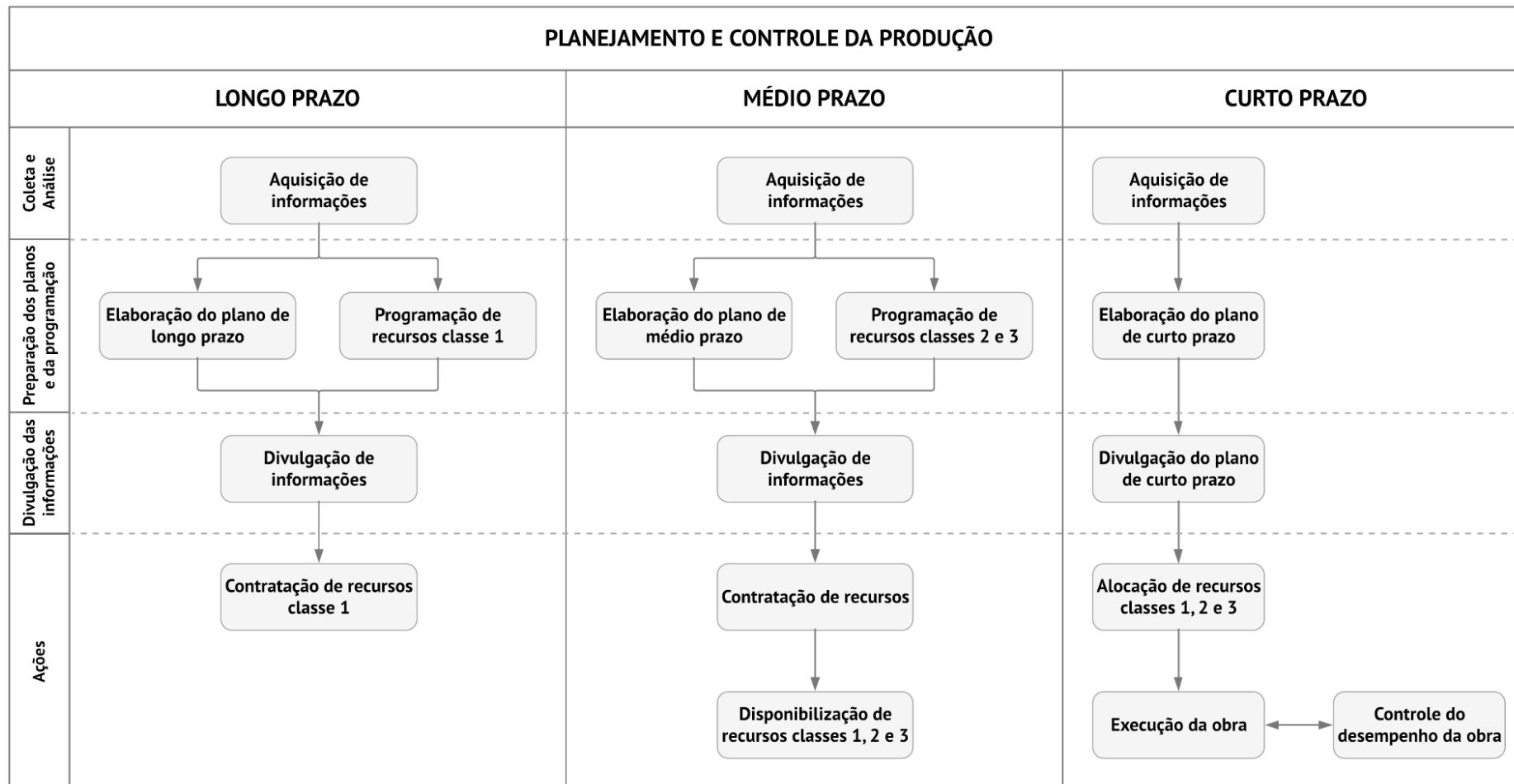
Também foi tido em consideração que não devem ser especificados demasiados indicadores, visto que a coleta de informações necessita de uma mobilização de tempo e recursos humanos, que algumas empresas, principalmente as de pequeno porte, não têm disponíveis, uma vez que os funcionários qualificados para tal normalmente têm uma elevada carga de trabalho. Com a especificação de

excessiva quantidade de indicadores, o aumento dessa carga de trabalho dos responsáveis envolvidos pode causar desmotivação na adoção de práticas de melhoria contínua. Além disso, a multiplicidade de resultados obtidos pode ser prejudicial no processo de tomada de decisão relativa à implementação de ações corretivas.

4.1.5 Fluxograma do modelo proposto

Na Figura 31 está representado o modelo geral do planejamento e controle da produção proposto para obras de Engenharia Natural, considerando os três níveis hierárquicos de longo, médio e curto prazo. O planejamento da obra propriamente dita é antecedido pela preparação do processo e é finalizado com a avaliação do mesmo. Durante a execução da obra deverá ser feito o controle da produção através da utilização de indicadores de desempenho.

Figura 31 - Modelo de planejamento e controle da produção nos três níveis hierárquicos.



Fonte: A autora.

5 APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

Definida a metodologia de planejamento e controle de produção para obras de Engenharia Natural, no presente capítulo é apresentada a sua implementação numa empresa e validação por meio da aplicação prática a uma obra.

Segundo Formoso et al. (2001), a implementação de um sistema de planejamento e controle da produção numa empresa deve ser realizada em estágios, de forma a diminuir os riscos e a facilitar a consolidação dos conceitos associados ao novo sistema. Inicialmente o sistema de PCP deve ser aplicado numa obra piloto, na sequência devem ser analisados os resultados e se a implementação for bem sucedida, o sistema pode ser replicado em outras obras da empresa. Os mesmos autores também indicam que é possível segmentar a implementação do PCP em níveis hierárquicos, iniciando pelo plano de curto prazo devido à sua simplicidade.

Nesta tese a implantação da metodologia de PCP foi introduzida na empresa numa obra piloto, considerando os três níveis hierárquicos de planejamento. Após validação da metodologia e análise dos resultados obtidos, a empresa poderá reproduzir o sistema em outros empreendimentos.

Como obra piloto foi utilizado um caso prático acompanhado pela autora desta tese, desenvolvido num talude fluvial localizado no ponto de confluência entre o Rio Ligeiro e o Rio Uruguai, responsabilidade da Usina Hidrelétrica de Machadinho (UHE Machadinho). A Concessionária da UHE Machadinho é constituída por um grupo de empresas que atuam nos segmentos industrial, de geração, distribuição e comercialização de energia elétrica, sendo esta concessão válida até 2032. O Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) desenvolve projetos de recuperação de áreas com processos erosivos para a UHE Machadinho, por meio de um contrato de apoio e desenvolvimento à pesquisa firmado entre a operadora da concessão (empresa integrante da concessionária), a Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC) e a UFSM.

5.1 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A área de intervenção está localizada a jusante do vertedouro da UHE de Machadinho, no ponto de confluência entre o Rio Ligeiro e o Rio Uruguai, conforme

representado na Figura 32. A área de intervenção apresenta influência da oscilação do nível de água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá (UHE Itá), localizada a jusante da área e controlada pela mesma operadora da concessão UHE Machadinho.

A obra objeto de estudo foi realizada num trecho que apresenta um comprimento total de 187 m e a sua execução visou mitigar os processos erosivos atuantes, criar nichos para a ictiofauna e recuperar ambientalmente a área.

Figura 32 - Localização da área de intervenção no ponto de confluência do Rio Ligeiro com o Rio Uruguai a jusante da UHE Machadinho.



Fonte: A autora (adaptado de Google Maps, 2018).

Os processos erosivos existentes na área de intervenção eram resultado do processo contínuo de corrosão e desconfinamento da base dos taludes, ocorrência de deslizamentos e transporte de solo devido à ação do fluxo de água, situação ainda mais agravada pela inexistência de um sistema de drenagem no topo do talude. Outro fenômeno que explica a ocorrência de processos erosivos é que quando ocorrem precipitações intensas por vários dias existe uma elevação do nível de água do rio, situação ainda mais agravada quando ocorre abertura do vertedouro da UHE Machadinho. Esta condição de elevação do nível de água leva à saturação do solo, aumento da poropressão e conseqüentemente ao aumento do peso do talude. Quando ocorre o rebaixamento rápido do nível da água, por abertura dos vertedouros da usina a jusante (UHE Itá), há remoção da pressão de confinamento lateral e redução da resistência ao cisalhamento no material que constitui o talude, devido à presença de poropressão, uma vez que essas pressões não se dissipam

simultaneamente ao rebaixamento do nível de água. Como consequência destes fatores ocorrem movimentos de massa nesses taludes (SOUSA; DEWES; SUTILI, 2017). O processo contínuo de desconfinamento da base do talude combinado com a ocorrência de movimentos de massa formou um talude fluvial com inclinação elevada (superior a 70°) e altura aproximada de 8,80 m no ponto mais alto. Estas condições geométricas de inclinação e altura não possibilitam a colonização pela vegetação autóctone.

A montante desta área ocorre um trecho de margem bem preservado, com presença de vegetação ciliar autóctone, constituída pela presença de espécies vegetais autóctones, popularmente designadas como sarandis, como a *Terminalia australis* Cambess., *Gymnanthes schottiana* Müll. Arg., *Calliandra brevipes* Benth. e *Pouteria salicifolia* (Spreng.) Radlk.. Este trecho apresenta os pontos preferenciais para a ocorrência de ictiofauna.

Na Figura 33 pode-se observar o trecho antes da intervenção com ocorrência de taludes verticalizados e áreas desconformadas, conforme descrito anteriormente. A montante da área de intervenção observa-se a presença de vegetação ciliar autóctone bem preservada.

Figura 33 - Vista frontal da área de intervenção em julho de 2016 (fotografia sem escala).



Fonte: A autora (arquivo pessoal, 2016).

Em 2016, o Laboratório de Engenharia Natural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a pedido da operadora da concessão desenvolveu um projeto de recuperação com técnicas de Engenharia Natural para a área marginal com processo erosivo.

Primeiramente foi realizada uma visita técnica ao local em julho de 2016, a partir da qual, foi elaborado o projeto conceitual, com descrição do estado de conservação, as tipologias erosivas atuantes, bem como, com a apresentação das ideias conceituais de soluções potenciais para serem executadas no local. Posteriormente, foi desenvolvido o projeto básico-executivo em duas fases, sendo a fase 1 relativa aos trabalhos de terraplenagem (projeto elaborado em julho de 2017) e a fase 2 referente à implementação de técnicas de estabilização e proteção do solo por meio de soluções construtivas de Engenharia Natural (projeto elaborado em fevereiro de 2018).

O projeto básico-executivo da fase 1 teve como objetivo especificar e detalhar os trabalhos de terraplenagem para reafeiçoamento dos taludes, realizados para reduzir a inclinação dos mesmos para 30°. Também foi prescrita a execução de defletores de pedra e madeira na base do talude visando a criação de nichos para a ictiofauna e a proteção hidráulica de parte da margem do trecho em tratamento, através da redução da velocidade do fluxo de água a jusante da estrutura e a deposição de sedimentos oriundos de montante do rio Uruguai e rio Ligeiro.

O projeto básico-executivo da fase 2 teve como objetivo especificar e detalhar os trabalhos de proteção e revestimento vegetal dos taludes com técnicas de Engenharia Natural, bem como, a criação de nichos ecológicos para a ictiofauna. Foram prescritas quatro técnicas de Engenharia Natural, nomeadamente:

- Feixes vivos combinados com esteira viva;
- Siltação viva;
- Paliçada em madeira;
- Plantio de mudas arbustivas, arbóreas e herbáceas.

Todas as técnicas foram devidamente detalhadas ao nível de procedimentos construtivos, especificações de materiais, dimensionamentos, espécies vegetais a serem utilizadas, cronograma executivo e quantitativo de materiais necessários para execução de todos os serviços. Além disso, fazem parte integrante do projeto os desenhos técnicos (pranchas) com a distribuição espacial de todas as intervenções, topografia da área, perfis topográficos e detalhamentos construtivos das técnicas de Engenharia Natural.

As plantas escolhidas como material construtivo são espécies autóctones do ambiente reófilo das matas ciliares da bacia hidrográfica do Alto Rio Uruguai. Para a

execução dos feixes vivos, esteira e siltação viva foram especificadas espécies autóctones reófitas, adaptadas à submersão temporária e que são abundantes nas proximidades do local de execução da obra. Apresentam boas taxas de propagação vegetativa que é um requisito para a execução dessas técnicas, ramos flexíveis e rusticidade, e assumem grande importância ecológica em obras de proteção e revestimento vegetal em rios.

Os projetos básico-executivo das duas fases foram utilizados no processo de licitação das obras. A obra, tal como os projetos também foi executada em duas fases, por duas empresas distintas contratadas pela Concessionária da UHE Machadinho após licitação. No entanto, a aplicação da metodologia proposta por esta tese foi implementada apenas na empresa (denominada como Empresa A) que executou a obra referente à segunda fase de projeto, uma vez que a primeira fase não contemplou a execução de técnicas de Engenharia Natural, além de ser uma obra de curta duração (com apenas 3 semanas), à qual não se aplica a metodologia proposta.

5.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA A

A empresa A foi fundada em agosto de 1999 está sediada em Itá, Santa Catarina e desde 2012 possui certificação ISO 9001. Atua no setor ambiental, nomeadamente na recuperação de áreas degradadas, produção de plantas em viveiros florestais, consultoria e licenciamento ambiental, entre outras atividades. A empresa atualmente tem cerca de 15 funcionários e é legalmente enquadrada como uma empresa de pequeno porte.

A empresa realiza alguns procedimentos de qualidade antes da execução de obras, como por exemplo, planejamento geral das obras, cronograma de trabalho e planilhas de custos. No entanto, a empresa não utiliza nenhuma metodologia de planejamento e controle de produção padronizada, nem sistema de indicadores de desempenho.

A empresa A foi responsável pela execução da segunda fase da obra, com contrato firmado no início do mês de julho de 2018. A implementação do processo de planejamento e controle da produção proposto neste trabalho iniciou-se concomitantemente à assinatura do contrato.

5.3 PREPARAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O planejamento da obra iniciou-se pela etapa de preparação do processo. Primeiramente foram definidos os funcionários dentro da empresa que são responsáveis por cada etapa do planejamento. Uma vez que a empresa não tem departamento de planejamento de obras ficou definido que o engenheiro da obra ficaria responsável pelo planejamento de longo, médio e curto prazo, bem como, pela coleta dos indicadores de desempenho durante a execução da obra.

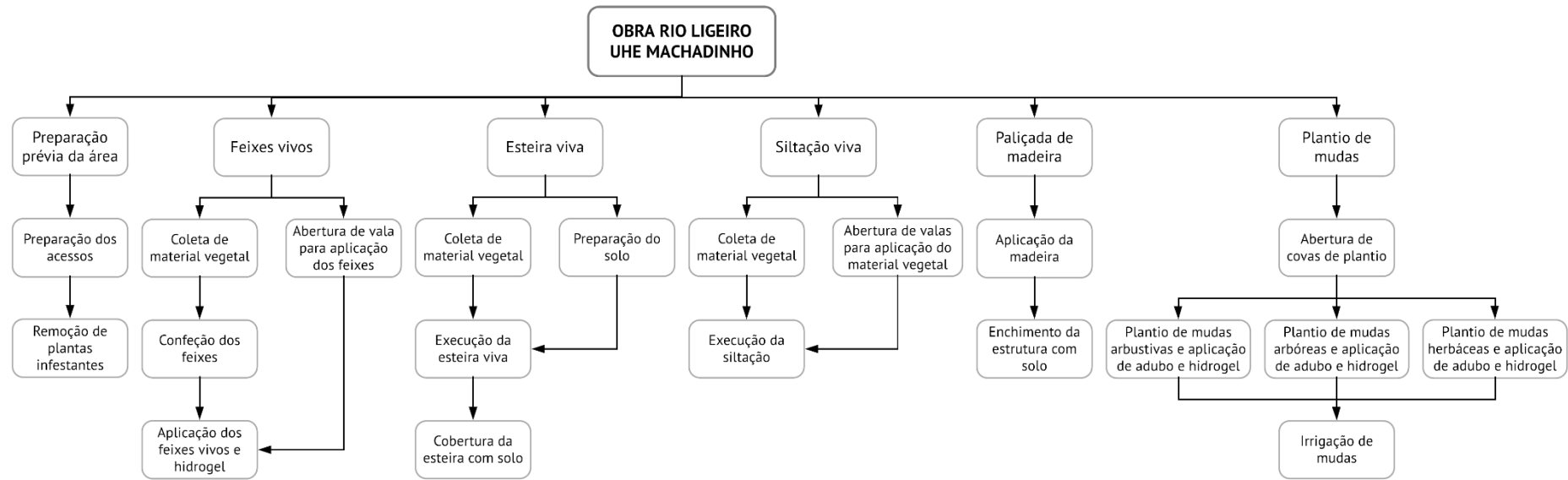
Foi elaborada a Estrutura Analítica de Partição de Projeto (EAP) com a decomposição da obra em atividades principais e que posteriormente foram decompostas em pacotes de trabalho devidamente hierarquizados, conforme representado na Figura 34.

A EAP foi elaborada após o estudo detalhado do projeto executivo, constituído por memorial descritivo, pranchas desenhadas com detalhamentos construtivos e quantitativo de materiais. A elaboração da EAP auxiliou na compreensão do projeto e de todas as atividades e pacotes de trabalho que o compõem, bem como no entendimento da sequência lógica das atividades.

O zoneamento da obra foi elaborado a partir da prancha de localização das intervenções, documento integrante do projeto executivo. Nessa prancha foi feita a divisão física do espaço para execução da obra. Inicialmente foram demarcadas as áreas referentes às técnicas construtivas previstas em projeto. Com base na localização dessas técnicas foram definidos dois acessos preferenciais para transporte de materiais e acesso de pessoas, que não causassem impactos ambientais nas áreas adjacentes e que atendessem ao fluxo mais eficiente de pessoas e materiais para execução das técnicas. Posteriormente, com base nas áreas das técnicas e nos acessos foi definida a melhor localização para o armazenamento dos materiais inertes, plantas, material vegetativo e confecção dos feixes vivos.

Para o armazenamento da madeira foram demarcadas duas áreas, a primeira localizada próxima do acesso 1, garantindo a execução da paliçada de madeira e parte da esteira viva, e a segunda área junto ao acesso 2 para execução da outra parte da esteira viva.

Figura 34 - Estrutura Analítica de Partição do Projeto (EAP) preparada para a obra.



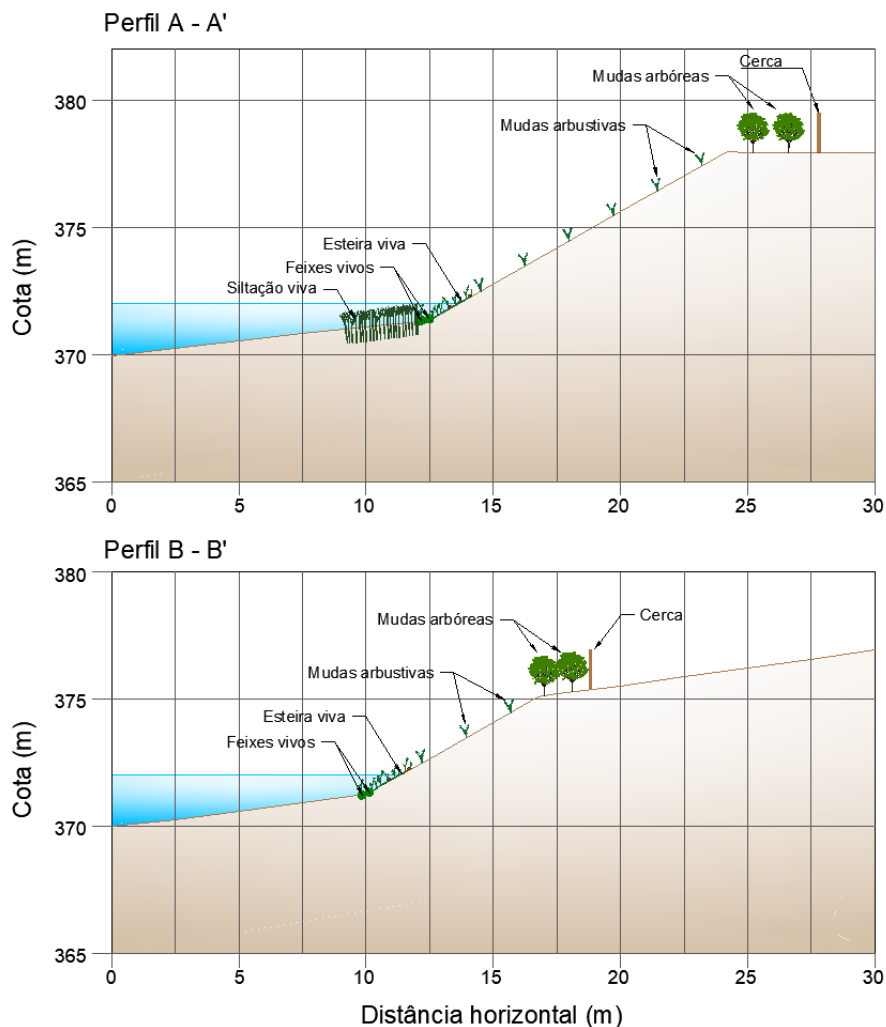
Fonte: A autora.

Para o armazenamento de plantas e outros materiais foi definida uma área localizada no meio da obra. Na mesma área foi preparado o material vegetativo para os feixes, siltação e esteira viva. A localização desta área atende à execução das técnicas de plantio de mudas, feixes, siltação e esteira viva que estão distribuídas longitudinalmente por toda a obra.

No caso desta obra não foi instalado canteiro de obra constituído por escritório, vestiário, almoxarifado, mas foi demarcada uma área para descanso e refeições, que está localizada na lateral da obra numa área sombreada por árvores.

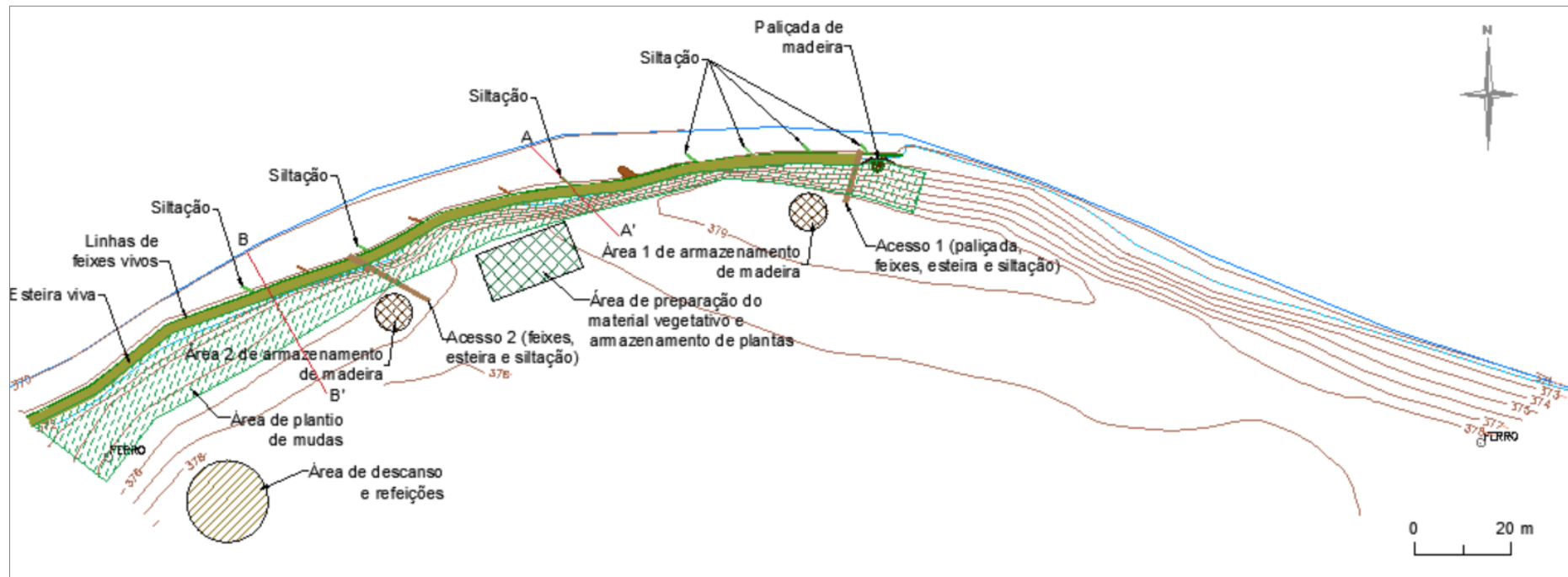
A definição do zoneamento é um fator determinante para minimizar os impactos da obra nas zonas contíguas que são áreas de preservação ambiental. Na Figura 35 estão representados dois perfis topográficos das intervenções propostas, respectivamente representados no zoneamento estabelecido para a obra (Figura 36).

Figura 35 - Perfis topográficos A – A' e B – B' representados no zoneamento definido para a obra (Figura 36).



Fonte: A autora.

Figura 36 - Zoneamento definido para a obra.



Fonte: A autora.

Em relação aos planos foi definida elaboração de um plano mestre que contempla toda a obra, uma vez que a sua duração é considerada curta (menos que 3 meses). Para este plano não foi prevista frequência de replanejamento devido à sua curta duração executiva.

O plano de médio prazo foi elaborado com horizonte temporal de um mês (quatro semanas). O primeiro plano foi elaborado antes de início da obra e posteriormente na última semana de cada mês deve ser elaborado o plano de médio prazo para o mês seguinte, com base nos resultados obtidos do controle dos planos de curto prazo e dos pacotes de trabalho efetivamente executados.

O plano de curto prazo foi elaborado semanalmente. No final da semana, com base nos resultados obtidos do controle do plano de curto prazo dessa semana, dos pacotes de trabalho executados e das atividades previstas no plano de médio prazo deve ser elaborado o plano de curto prazo para a semana seguinte.

No que diz respeito à análise das restrições foram analisadas várias condicionantes. Foi analisado o acesso à obra sendo definido que esse acesso seria feito por estradas existentes. Outra restrição muito importante nesta obra refere-se à coleta de material vegetal, visto que o projeto especifica várias técnicas de Engenharia Natural (feixes vivos, siltação e esteira viva), que utilizam material vegetativo proveniente de plantas autóctones da região. Esse material foi coletado nas áreas preservadas adjacentes à obra e foi definido que essa coleta seria feita preferencialmente de barco de forma a otimizar o processo de corte e transporte do material, uma vez que muitas áreas de vegetação estão localizadas nas margens e no leito do rio Ligeiro e Uruguai, onde não existe acesso para veículos.

Outra restrição considerada foi o período de tempo disponível para execução da obra. Técnicas como os feixes vivos, siltação e esteira viva dependem da utilização de material vegetal que se reproduz vegetativamente a partir de ramos coletados de outras plantas matrizes. Essa coleta de material deve ser obrigatoriamente realizada no período de repouso vegetativo, que ocorre no inverno (21 de junho até 21 de setembro). Neste caso a data limite para execução destas técnicas teve em consideração esta janela de tempo.

Não foram identificadas restrições financeiras, uma vez que a empresa dispõe de fluxo de caixa para a execução da obra.

Em relação à autorização ambiental para execução da obra, o cliente comunicou formalmente por meio do projeto conceitual elaborado pela equipe

projetista, as necessidades de intervenção ao órgão ambiental. Neste caso o órgão ambiental responsável é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), uma vez que a UHE Machadinho está localizada na divisa entre duas unidades federativas, os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A partir da análise do projeto, o órgão ambiental autorizou formalmente a execução da obra.

As metas gerais definidas na preparação do processo tiveram como base os detalhes que constam no contrato firmado com o cliente. A nível de prazo foi estabelecido como data limite de execução da obra dia 15 de outubro de 2018, apesar da entrega efetiva da obra esteja estabelecida contratualmente para março de 2019. A informação do valor do custo definido para as despesas em relação ao valor contratual não foi divulgada pela empresa A. Foram também analisadas as metas contratuais definidas pelo cliente em relação às obrigações trabalhistas, fiscais, previdenciárias, saúde e segurança do trabalho e políticas de gestão sustentável e meio ambiente.

Em relação à estratégia de ataque à obra foi estabelecido o sequenciamento construtivo das diferentes técnicas que compõe o projeto. A sequência foi definida principalmente com base na lógica construtiva, mas também considerou a disponibilidade dos materiais necessários e as restrições associadas a esses materiais. Esta estratégia serviu de base para elaboração do plano mestre de longo prazo.

Na sequência foram especificados quais os indicadores de desempenho que foram utilizados em cada etapa da obra, bem como quem é o responsável pela coleta das informações, tratamento dos dados e análise dos dados. Uma vez que a empresa A atualmente não utiliza sistema de indicadores, optou por utilizar todos os indicadores propostos na metodologia apresentada. Futuramente a empresa poderá optar por utilizar outros indicadores que melhor se adaptem às diferentes demandas da estrutura empresarial.

Para finalizar o processo de preparação de planejamento e controle da obra foi realizada uma reunião com a direção da empresa, o engenheiro responsável da obra e o encarregado para divulgação e discussão de todas as informações consolidadas. Também foi estabelecido que o zoneamento da obra e a EAP estarão disponíveis para consulta no canteiro de obra.

Também foi realizada uma reunião entre os engenheiros responsáveis pela obra da parte da empresa A e da parte do cliente para análise das informações e verificação da existência de outras demandas do cliente.

5.4 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO

O planejamento estratégico de longo prazo foi iniciado com a aquisição de todas as informações compiladas na preparação preliminar do processo. Uma vez que o engenheiro da obra é responsável pela elaboração do plano de longo prazo foi ele que procedeu à coleta de todas as informações.

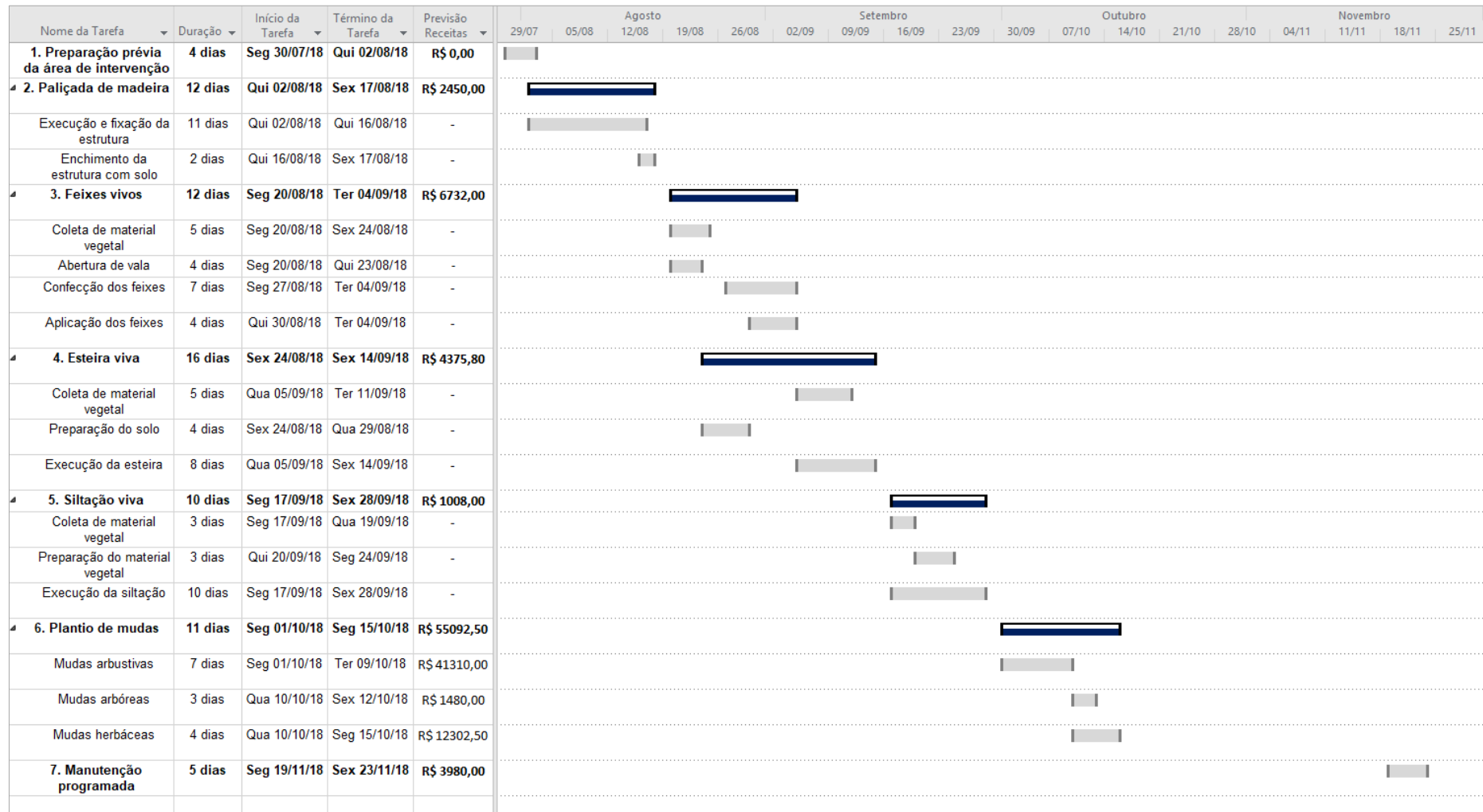
Posteriormente com base em todas as informações preparadas foi elaborado o plano mestre constituído por um gráfico de Gantt preparado no programa Microsoft Project.

O plano mestre de longo prazo está representado na Figura 37. Este plano foi elaborado considerando a execução de toda a obra, sendo determinada como datas de início das atividades dia 30 de julho e término dia 15 de outubro. Foi também incluído um período entre 19 e 23 de novembro, para realização duma manutenção programada, conforme previsto em contrato.

Na elaboração do plano foram elencadas todas as atividades principais que constituem a obra, decompostas em tarefas, com a identificação das datas de início e término. Também foi considerada como condicionante a restrição identificada para a execução das técnicas (feixes vivos, siltação e esteira viva) que dependem de propagação vegetativa. Como se pode verificar na Figura 37 estas técnicas têm previsão de execução entre 20/08 e 28/09, ultrapassando em apenas uma semana o período de repouso vegetativo das plantas que serão utilizadas conforme especificado em projeto.

Também foi incluída a previsão das receitas, onde são apresentados apenas os valores para as atividades principais seguindo os valores especificados no orçamento contratual. No caso específico da primeira atividade, referente à preparação prévia da área de intervenção não há previsão de receita, uma vez que esta atividade não foi incluída no orçamento. No entanto, esta atividade foi incluída no plano mestre porque está descrita no projeto executivo e diz respeito ao reconhecimento da área, preparação dos acessos, remoção de infestantes e outras atividades preparatórias que sejam necessárias.

Figura 37 - Plano mestre de longo prazo elaborado para a obra.



Fonte: A autora.

Em relação à previsão das despesas para execução das atividades, a empresa A não disponibilizou esses dados e por isso as despesas não foram incluídas no plano.

Concluída a elaboração do plano mestre, o mesmo foi submetido à avaliação e aprovação da diretoria da empresa, antes da sua divulgação para os usuários.

Posteriormente, foi realizada uma reunião com o encarregado e o chefe de equipe, onde o engenheiro de obra apresentou as atividades a serem realizadas e as metas estabelecidas ao nível de datas e duração dessas atividades. Durante a reunião, a viabilidade do plano foi analisada e discutida com o encarregado e chefe de equipe, não tendo sido realizadas alterações. O plano mestre também foi apresentado ao departamento financeiro que, com base na previsão dos custos e receitas para execução da obra, fez a projeção do fluxo de caixa para os meses seguintes, levando em consideração outras obras da empresa.

A partir do plano mestre, o engenheiro da obra elaborou a programação de recursos, com definição de todos os recursos classe 1 necessários para execução da obra, e as respectivas datas-marco de fornecimento. Na Figura 38 é apresentada a programação de recursos classe 1, com a indicação da mão de obra, materiais, máquinas, veículos e equipamentos necessários à execução da obra. Os recursos são descritos de forma detalhada, principalmente no que diz respeito aos materiais, de forma a não ocorrerem equívocos durante o processo de compra e erros no fornecimento em relação ao que estava especificado no projeto executivo. A programação de recursos classe 1 foi posteriormente submetida à avaliação e aprovação da diretoria da empresa.

Na sequência foi realizada a divulgação para os departamentos responsáveis, onde se analisou a necessidade de compra, contrato ou aluguer dos recursos classe 1 considerando as informações dos estoques de materiais disponíveis e na alocação de equipes, máquinas e equipamentos em outras obras da empresa em fase de execução.

O departamento de recursos humanos é responsável pela parte referente à mão de obra. Com base nas informações de alocação de funcionários em outras obras da empresa em fase de execução, o departamento avaliou a necessidade de terceirização e/ou contratação de novos funcionários. Foi concluído que não haveria necessidade de contratação e/ou terceirização de novos funcionários, uma vez que as datas-marco estabelecidas na programação não interferiam com a execução de outras obras.

Figura 38 - Programação de recursos classe 1 definida para a obra.

LOGOTIPO EMPRESA A	Obra: Rio Ligeiro Local: UHE Machadinho Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A	Elaborado em: julho/2018	Data: julho/2018	
		Elaborado por:		
		Alterado em:	Revisão n.º 1	
		Alterado por:		
Recursos	Descrição do recurso	Quantidade	Unidade	Datas-marco
Mão de obra	Engenheiro de obra	1	un	30/07/2018
	Chefe de equipe	1	un	30/07/2018
	Encarregado	1	un	30/07/2018
	Equipe de auxiliares	4	un	30/07/2018
	Carpinteiro	1	un	02/08/2018
	Barqueiro	1	un	20/08/2018
	Aço nervurado Ø 10 mm	775	m	02/08/2018
	Troncos madeira L = 3 m e Ø 16 cm	7	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 2 m e Ø 16 cm	14	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 2,5 m e Ø 16 cm	10	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 4 m e Ø 10 cm	94	un	05/09/2018
	<i>Calliandra brevipes</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Calliandra tweedii</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Gymnanthes schottiana</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Mimosa pigra</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Phyllanthus sellowianus</i> h = 1,0 m	1170	un	01/10/2018
	<i>Pouteria salicifolia</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Sesbania virgata</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Ateleia glazioveana</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Bauhinia forficata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Eugenia uniflora</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Eugenia involucrata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Inga marginata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Inga vera</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Prunus myrtifolia</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Psidium cattleianum</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Schinus molle</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Schinus terebinthifolius</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Arachis repens</i>	3515	un	10/10/2018
	<i>Sphagneticola trilobata</i>	3515	un	10/10/2018
Máquinas e Veículos	Camionete 4 x 4	1	un	30/07/2018
	Camião com braço hidráulico	1	un	02/08/2018
	Camião	1	un	20/08/2018
	Barco chata cargueiro	1	un	20/08/2018
Equipamentos	Motosserra	1	un	02/08/2018
	Furadeira	1	un	02/08/2018
	Gerador	1	un	02/08/2018
	Perfurador de solo	2	un	01/10/2018
Arquivo:		Aprovação diretoria:		

Fonte: A autora.

Já o departamento de suprimentos (ou compras) é responsável pela disponibilização, aquisição ou aluguer de materiais, máquinas, veículos e equipamentos. Foi aferida a necessidade de aquisição de materiais com base nos estoques existentes. Após análise dos estoques disponíveis verificou-se a necessidade de compra de todos os materiais especificados e foram iniciados os procedimentos de contratação. No caso específico das plantas, as mesmas não foram compradas uma vez que o cliente dispõe de um viveiro florestal com uma equipe de trabalho especializada que produz as plantas seguindo as demandas estabelecidas pelo cliente. Desta forma, ficou estabelecido no contrato que as plantas seriam diretamente fornecidas pelo cliente e a empresa A procederia apenas ao transporte e plantio das mesmas. No entanto, as mesmas foram incluídas na programação de forma a que o departamento de suprimentos, com base nas datas-marco solicitasse ao viveiro florestal a preparação dos lotes de plantas antecipadamente.

No caso específico das máquinas, veículos e equipamentos foram consideradas as informações referentes à alocação dos recursos existentes em outras obras da empresa em fase de execução e verificou-se que não haveria necessidade de compra ou aluguer, uma vez que as datas-marco estabelecidas na programação não interferiam na demanda de outras obras.

Realizadas as atividades que compõem o planejamento de longo prazo e gerados os seus produtos, nomeadamente o plano mestre e a programação de recursos classe 1 foi iniciado o planejamento de médio prazo.

5.5 PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

O planejamento tático de médio prazo foi iniciado com a aquisição de todas as informações compiladas anteriormente na fase de preparação do processo e no planejamento de longo prazo.

A partir do detalhamento dos pacotes de trabalho provenientes da Estrutura Analítica de Partição do Projeto, as atividades do plano de longo prazo são detalhadas considerando um horizonte de planejamento mensal. Desta forma, foi elaborado o primeiro plano mensal de médio prazo, considerando a execução das atividades previstas para as primeiras quatro semanas de obra, entre 30/07 e 24/08. Posteriormente, todos os meses foi elaborado um novo plano mensal a partir das

informações provenientes do controle dos planos de curto prazo. Esses planos são apresentados no Apêndice A.

O plano de médio prazo representado na Figura 39 foi desenvolvido no programa Microsoft Excel, com base na planilha proposta na metodologia.

Na elaboração do plano foram elencadas todas as atividades principais que constituem a obra decompostas em pacotes de trabalho, incluídas no plano mestre para o primeiro mês da obra, com a identificação das datas de início e término de cada pacote de trabalho. Também foram identificadas as restrições para a realização dos pacotes de trabalho e que deverão ser antecipadamente removidas pelo engenheiro da obra em conjunto com os departamentos às quais as restrições dizem respeito.

Concluída a elaboração do plano de médio prazo, o mesmo foi submetido à avaliação e aprovação da diretoria da empresa, antes da sua divulgação para os usuários.

A partir do plano de médio prazo, o engenheiro da obra procedeu à elaboração da programação de recursos classe 2. Não foram incluídos recursos classe 3, uma vez que a obra não apresenta demanda de recursos deste tipo. Na Figura 40 é apresentada a programação de recursos classes 1 e 2, com a indicação da mão de obra, materiais, máquinas, veículos e equipamentos necessários para a execução da obra, bem como as datas-marco limites para o fornecimento desses recursos. A programação foi elaborada na mesma planilha preparada durante o planejamento de longo prazo e os recursos classe 2 adicionados no médio prazo estão representados com cor distinta (cinza). Todos os recursos classe 2 incluídos na planilha, apesar de compreenderem a quantidade total do lote, têm um ciclo de aquisição rápida e podem ser comprados em fornecedores locais.

Após aprovação pela diretoria da empresa a programação foi encaminhada para os departamentos responsáveis pela aquisição e disponibilização dos recursos na obra.

O departamento de recursos humanos, que durante o planejamento de longo prazo já tinha aferido que não iria haver necessidade de contratação de mão de obra, procedeu à confirmação do andamento executivo das outras obras da empresa e verificou que o mesmo estava de acordo com o previsto e a mão de obra necessária para a execução da obra em causa estaria disponível nas datas-marco estabelecidas.

Figura 39 - Plano de médio prazo elaborado para as primeiras quatro semanas de obra (de 30/07 a 24/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO MENSAL	Obra: Rio Ligeiro													Elaborado em: 13/07/18	Data: 13/07/2018						
															Elaborado por:							
		Local: UHE Machadinho													Alterado em:	Revisão n.º 1						
Engenheiro: Engenheiro Empresa A													Alterado por:									
PACOTES DE TRABALHO	SEMANA 1 (30/07/2018)					SEMANA 2 (06/08/2018)					SEMANA 3 (13/08/2018)					SEMANA 4 (20/08/2018)					RESTRIÇÕES	
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S		
1. Preparação prévia da área																						
Preparação dos acessos	■	■																			Mão de obra (Encarregado, chefe de equipe e auxiliares) e camionete 4x4	
Remoção de plantas infestantes			■	■																	Mão de obra (Encarregado, chefe de equipe e auxiliares) e camionete 4x4	
2. Paliçada de madeira:																						
Execução e fixação da estrutura				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						Carpinteiro, materiais paliçada, caminhão com braço hidráulico, motosserra, furadeira e gerador	
Enchimento da estrutura com solo														■	■							
3. Feixes vivos:																						
Coleta de material vegetal																■	■	■	■	■	Barqueiro, barco	
Abertura da vala para aplicação dos feixes																■	■	■	■			
4. Esteira viva																						
Preparação do solo																				■		
Arquivo:					Aprovação responsável:										Aprovação diretoria:							

Fonte: A autora.

Figura 40 - Programação de recursos classes 1 e 2 definida para a obra.

LOGOTIPO EMPRESA A	Obra: Rio Ligeiro Local: UHE Machadinho Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A	Elaborado em: 13/07/18	Data: 13/07/2018	
		Elaborado por:		
		Alterado em:	Revisão n.º 1	
		Alterado por:		
Recursos	Descrição do recurso	Quantidade	Unidade	Datas-marco
Mão de obra	Engenheiro de obra	1	un	30/07/2018
	Chefe de equipe	1	un	30/07/2018
	Encarregado	1	un	30/07/2018
	Equipe de auxiliares	4	un	30/07/2018
	Carpinteiro	1	un	02/08/2018
	Barqueiro	1	un	20/08/2018
	Aço nervurado Ø 10 mm	775	m	02/08/2018
	Troncos madeira L = 3 m e Ø 16 cm	7	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 2 m e Ø 16 cm	14	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 2,5 m e Ø 16 cm	10	un	02/08/2018
	Troncos madeira L = 4 m e Ø 10 cm	94	un	05/09/2018
	<i>Calliandra brevipes</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Calliandra tweedii</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Gymnanthes schottiana</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Mimosa pigra</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Phyllanthus sellowianus</i> h = 1,0 m	1170	un	01/10/2018
	<i>Pouteria salicifolia</i> h = 1,0 m	920	un	01/10/2018
	<i>Sesbania virgata</i> h = 1,0 m	2090	un	01/10/2018
	<i>Ateleia glazioviana</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Bauhinia forficata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Eugenia uniflora</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Eugenia involucrata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Inga marginata</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Inga vera</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Prunus myrtifolia</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Psidium cattleianum</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Schinus molle</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Schinus terebinthifolius</i> h = 1,5 m	37	un	10/10/2018
	<i>Arachis repens</i>	3515	un	10/10/2018
	<i>Sphagneticola trilobata</i>	3515	un	10/10/2018
	Barra roscada L 0,40 m x Ø 1/2"	4	un	02/08/2018
	Conjunto porca sextavada arruela Ø 1/2"	8	un	02/08/2018
	Arame galvanizado Ø 1 mm rolos de 20 m	18	un	27/08/2018
	Arame galvanizado Ø 3 mm rolos de 50 m	22	un	05/09/2018
	Hidrogel	27	kg	30/08/2018
	Aduto NPK 10:20:20	477	kg	01/10/2018
Máquinas e Veículos	Camionete 4 x 4	1	un	30/07/2018
	Camião com braço hidráulico	1	un	02/08/2018
	Camião	1	un	20/08/2018
	Barco chata cargueiro	1	un	20/08/2018
Equipamentos	Motosserra	1	un	02/08/2018
	Furadeira	1	un	02/08/2018
	Gerador	1	un	02/08/2018
	Perfurador de solo	2	un	01/10/2018
Arquivo:		Aprovação diretoria:		

Fonte: A autora.

O departamento de suprimentos procedeu à compra dos recursos classe 2 definidos na programação de médio prazo. Além disso, iniciou o processo de confirmação de entrega com os fornecedores dos materiais solicitados anteriormente na programação de recursos classe 1.

Posteriormente, alguns dos materiais como os troncos de madeira e o aço nervurado, começaram a ser entregues pelos fornecedores no armazém da empresa. A opção por entregar esses materiais no armazém da empresa em vez de entregar diretamente na obra está relacionada com as condições dos acessos viários ao local da obra, que não possibilitam a circulação de caminhões de maiores dimensões ou com cargas mais pesadas. Desta forma, a empresa optou pela entrega desses materiais no seu armazém e posteriormente fez o transporte para a obra em cargas menores constituídas por frações da quantidade total dos lotes. O período de tempo necessário para a realização do transporte de materiais foi incluído nos planos de longo e médio prazo, na duração das atividades às quais os recursos dizem respeito.

Durante a entrega dos materiais foi feita a verificação da conformidade em relação às especificações técnicas e quantidades dos recursos fornecidos, pelo funcionário responsável pelo armazém. No caso dos materiais entregues diretamente na obra, a verificação foi realizada pelo encarregado da obra.

No caso específico das máquinas, veículos e equipamentos, o departamento de suprimentos procedeu à confirmação do andamento executivo das outras obras da empresa e verificou que o mesmo estava de acordo com o previsto e os recursos necessários para a execução da obra em causa estariam disponíveis nas datas-marco estabelecidas.

Realizadas as atividades que compõem o planejamento de médio prazo e gerados os seus produtos, nomeadamente o plano de médio prazo e a programação de recursos classe 2, foi iniciado o planejamento de curto prazo.

5.6 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

O planejamento operacional de curto prazo foi iniciado com a aquisição das informações provenientes do plano de médio prazo. Foram analisados os pacotes de trabalho previstos no médio prazo para a primeira semana de trabalho e as respectivas restrições. O engenheiro da obra verificou com os departamentos responsáveis a disponibilização dos recursos necessários para a execução dos pacotes de trabalho.

Confirmada a remoção das restrições foi elaborado o plano de curto prazo, considerando as atividades que serão executadas na primeira semana de obra, entre 30/07 e 03/08, conforme representado na Figura 41. Posteriormente, todas as semanas foi elaborado um novo plano semanal a partir das informações provenientes do controle dos planos de curto prazo anteriores. Os planos de curto prazo devidamente preenchidos com dados de entrada e resultados são apresentados no Apêndice A.

O plano de curto prazo apresentado na Figura 41 foi desenvolvido no programa Microsoft Excel, a partir da planilha *last planner* proposta na metodologia. Na elaboração do plano foram incluídos três pacotes de trabalho com a identificação dos dias em que os mesmos deverão ser executados. Também foi incluído um pacote de trabalho de reserva (indicado no final da planilha com um asterisco) para garantir a continuidade da obra caso ocorra algum problema com os pacotes de trabalho programados.

Concluída a elaboração do plano de curto prazo, o mesmo foi avaliado e discutido em breve reunião entre o engenheiro de obra, o encarregado e o chefe de equipe e em seguida aprovado por todos. No início da obra as metas estabelecidas foram transmitidas de forma verbal para as equipes de trabalho.

Na sequência os recursos classes 1 e 2 começaram a ser alocados no canteiro de obra respeitando o zoneamento estabelecido na Figura 36.

Com todos os recursos necessários alocados, a execução da obra iniciou na data estabelecida nos planos. Na primeira semana de execução realizou-se uma reunião na obra entre o engenheiro responsável pela execução (empresa A), o engenheiro da operadora da concessão (cliente) e os projetistas. A reunião teve como objetivos o acompanhamento do início da execução, a aprovação dos materiais e o esclarecimento de dúvidas relacionadas aos procedimentos construtivos.

Figura 41 - Plano de curto prazo elaborado para a primeira semana de obra (de 30/07 a 03/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro								Elaborado em: 19/07/18		Data: 19/07/2018	
			Local: UHE Machadinho								Elaborado por:			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A								Alterado em:		Revisão n.º 1	
			Encarregado: Encarregado Empresa A								Alterado por:			
Semana de <u>30/07/2018</u> a <u>03/08/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = \underline{\hspace{2cm}}$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO	
Preparação dos acessos	Área geral	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X								
				E										
Remoção de plantas infestantes	Área geral	2 auxiliares		P			X	X						
				E										
Execução e fixação da paliçada de madeira	Área paliçada	Chefe de equipe, carpinteiro e 2 auxiliares		P				X	X					
				E										
				P										
				E										
* Abertura de vala para aplicação de feixes				P										
				E										
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Com a obra em processo de execução foi iniciado o controle do seu desempenho através da coleta dos indicadores de desempenho apresentados na metodologia.

5.7 RESULTADOS DO CONTROLE DE DESEMPENHO DA OBRA

Parte dos indicadores de desempenho foram coletados durante a execução da obra, de modo a verificar a sua eficiência e eficácia. Os indicadores coletados durante a obra proporcionaram a obtenção de informações quantitativas e auxiliaram no processo de tomada de decisão que visa a implementação de ações corretivas antecipadamente.

O indicador de percentual de planejamento concluído (PPC) foi coletado semanalmente a partir dos dados preenchidos na planilha *last planner* de curto prazo. Na Figura 42 está representado o gráfico resultante da coleta do indicador PPC e que mostra a evolução do mesmo ao longo das oito semanas de execução da obra. Todos os planos de curto prazo preenchidos são apresentados no Apêndice A.

Nas primeiras três semanas o PPC obteve resultado igual a 100%, o que demonstra eficácia máxima do processo de planejamento. Ou seja, todos os pacotes de trabalho dimensionados no médio prazo e incluídos nos planos de curto prazo foram executados conforme previsto e as suas restrições, devidamente identificadas no plano de médio prazo, foram removidas antecipadamente. Na quarta semana o PPC baixou, apresentando resultado de 66,7%. A causa de não cumprimento do plano foi a ocorrência de baixa produtividade da equipe de trabalho durante a execução de um dos pacotes de trabalho (preparação do solo para aplicação da esteira).

Antes do término do quarto plano de curto prazo (dia 24/08), foi elaborado um novo plano mensal para o segundo mês da obra (elaborado dia 23/08 e que compreende o período de 27/08 a 21/09). Este plano é apresentado no Apêndice A, Figura 51. A preparação desse plano seguiu as diretrizes descritas na metodologia proposta. Dimensionados os pacotes de trabalho mensais, datas de execução dos mesmos e identificadas as suas restrições procedeu-se à elaboração dos planos de curto prazo para as quatro semanas subsequentes.

Na quinta semana, o PPC alcançou novamente 100% de eficácia, com a execução de todos os pacotes de trabalho previstos. Já na sexta semana o PPC teve

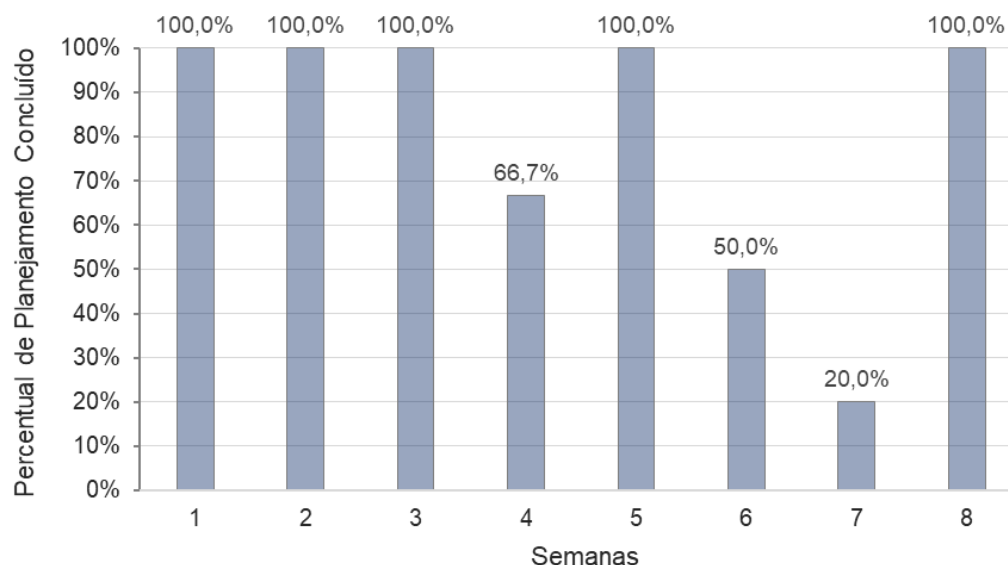
um resultado de 50%, com a execução total de apenas dois pacotes de trabalhos dos quatro programados, devido à ocorrência de condições climáticas adversas.

Na sétima semana, o PPC baixou ainda mais resultando num valor de apenas 20%. Dos quatro pacotes de trabalho especificados nenhum foi executado totalmente, sendo apenas executado o pacote de reserva (abertura de covas de plantio para mudas arbustivas e arbóreas). Este resultado baixo de PPC deveu-se à ocorrência de precipitações durante a semana e também nas semanas antecedentes em extensas áreas da bacia hidrográfica de contribuição, o que ocasionou uma elevação do nível de água do reservatório da usina hidrelétrica localizada a jusante da área de intervenção (UHE Itá), impossibilitando a execução das tarefas na base do talude que se encontrava completamente submersa. Como forma de proteção da produção contra os efeitos da incerteza, a elaboração dos planos de curto prazo compreende a inclusão de pacotes de trabalho de reserva. Desta forma, a equipe de trabalho em obra por impossibilidade de realizar as tarefas previstas, procedeu à execução do pacote de trabalho de reserva, uma vez que área de intervenção referente a esta tarefa não foi afetada pela elevação do nível de água.

Na sequência foi elaborado o plano de curto prazo para a oitava semana da obra. Conforme descrito na metodologia, sempre que um plano de curto prazo é elaborado, de seguida é realizada uma breve reunião entre o engenheiro de obra, o encarregado e o chefe de equipe para análise e discussão das tarefas do plano semanal. Durante essa reunião conclui-se que seria impossível executar as tarefas programadas, uma vez que o nível de água do reservatório estava elevado e interferia diretamente na execução de todas as tarefas.

Para atenuar os impactos desta condicionante no prazo da obra e nas metas definidas procedeu-se à revisão do plano de médio prazo referente ao segundo mês da obra, incluindo e dimensionando novos pacotes de trabalho para a última semana do mês considerando as novas condições do local. Esses pacotes de trabalho estão destacados na Figura 56 (Apêndice A) com preenchimento diferenciado nas células referentes às datas de duração. Estabelecidas as novas metas procedeu-se à revisão do plano de curto prazo para a oitava semana. Após a revisão, o resultado PPC foi de 100%, o que mostra que o acompanhamento da obra através dos indicadores de desempenho de PPC e das causas de não cumprimentos, auxilia no processo de tomada de decisão e na implementação de ações corretivas que visam o cumprimento das metas estabelecidas.

Figura 42 - Evolução do PPC durante as semanas de execução da obra.



Fonte: A autora.

Antes da data de término do oitavo plano de curto prazo foi elaborado um novo plano mensal para o terceiro mês da obra (elaborado dia 21/09 e que compreende o período de 24/09 a 19/10). Este plano é apresentado na Figura 58 (Apêndice A). Neste plano não foram previstos pacotes de trabalho para as primeiras duas semanas do mês, devido ao nível da água do reservatório impossibilitar a execução das tarefas, uma vez que normalmente até o nível se reestabelecer na cota normal demanda um período de tempo relativamente longo e que depende das condições climáticas nas bacias de contribuição, informação confirmada pela operadora da concessão da UHE Machadinho e da UHE Itá. Desta forma, os pacotes de trabalho remanescentes para terminar a obra foram especificados para as duas últimas semanas do plano mensal (de 08/10 a 19/10).

No entanto, o rebaixamento do nível da água no reservatório para a sua cota normal de operação não ocorreu dentro do período definido no terceiro plano de médio prazo, devido à continuação de precipitações intensas nas bacias de contribuição das duas usinas hidrelétricas. O rebaixamento do nível da água só iniciou durante o mês de novembro, o que impossibilitou a execução das técnicas de Engenharia Natural em falta para a conclusão da obra, uma vez que essas técnicas (feixes, esteira e siltação viva) dependem do período de repouso vegetativo para serem executadas. O período de repouso vegetativo terminou no final de setembro e por isso a execução dos

trabalhos em falta foi reagendada para o inverno de 2019, com a devida aprovação do cliente e da equipe projetista.

Face a esta condicionante, não foram preparados mais planos para 2018 e em 2019 deverá ser feito um novo planejamento considerando as tarefas em falta para a conclusão da obra.

Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades previstas no projeto executivo para cada técnica de intervenção, bem como as quantidades e percentagens efetivamente executadas. No Apêndice B são apresentadas fotografias (Figura 59 e Figura 60) dos resultados finais referentes às técnicas executadas, 3 meses após execução da obra.

Tabela 1 - Técnicas de intervenção especificadas no projeto executivo com respectivas quantidades previstas e executadas.

Técnica de Intervenção	Unidade	Quantidade Prevista	Quantidade Executada	Percentagem executada (%)
Preparação prévia da área de intervenção	m ²	1758	1758	100,0
Feixes vivos	m	382	282	73,8
Esteira viva	m ²	374	319	85,3
Siltação viva	m	21	0	0,0
Paliçada em madeira	m ²	8	8	100,0
Plantio de mudas com porte arbustivo	un.	10200	10200	100,0
Plantio de mudas com porte arbóreo	un.	370	370	100,0
Plantio de mudas herbáceas	un.	7030	7030	100,0

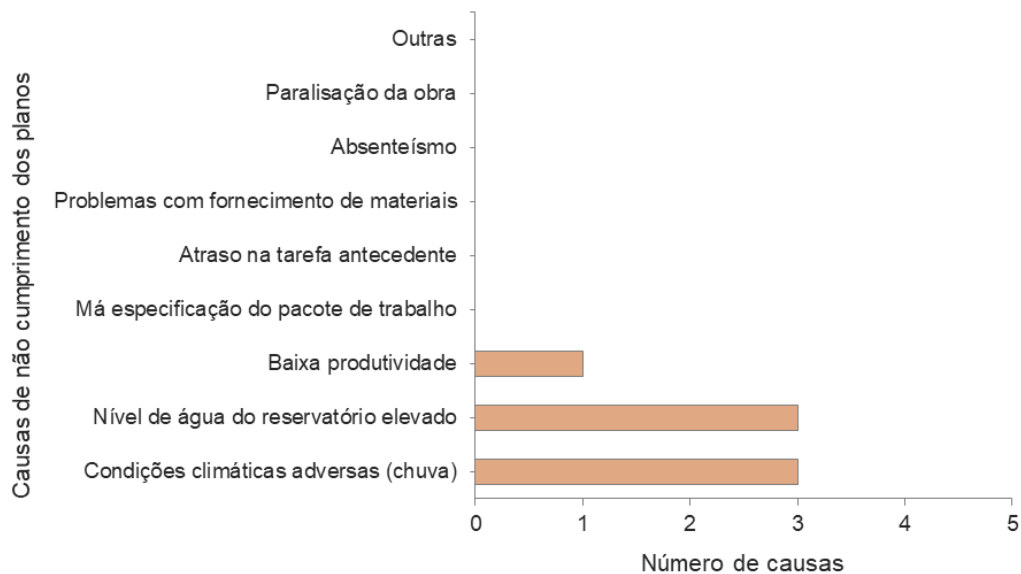
Fonte: A autora.

Associado ao PPC foram identificadas as causas de não cumprimento dos planos de curto prazo. Conforme se pode observar na Figura 43, as causas mais frequentes foram as condições climáticas adversas (com 3 ocorrências) e o aumento do nível da água no reservatório (3 ocorrências), o que causou a submersão de parte

da área de intervenção. A outra causa identificada foi a baixa produtividade durante a execução de um dos pacotes de trabalho.

Na Figura 43, também estão listadas outras causas de não cumprimento que são frequentemente identificadas como impedimento para execução dos planos de curto prazo, mas que não ocorreram durante a execução desta obra.

Figura 43 - Frequência das causas de não cumprimentos dos planos de curto prazo.

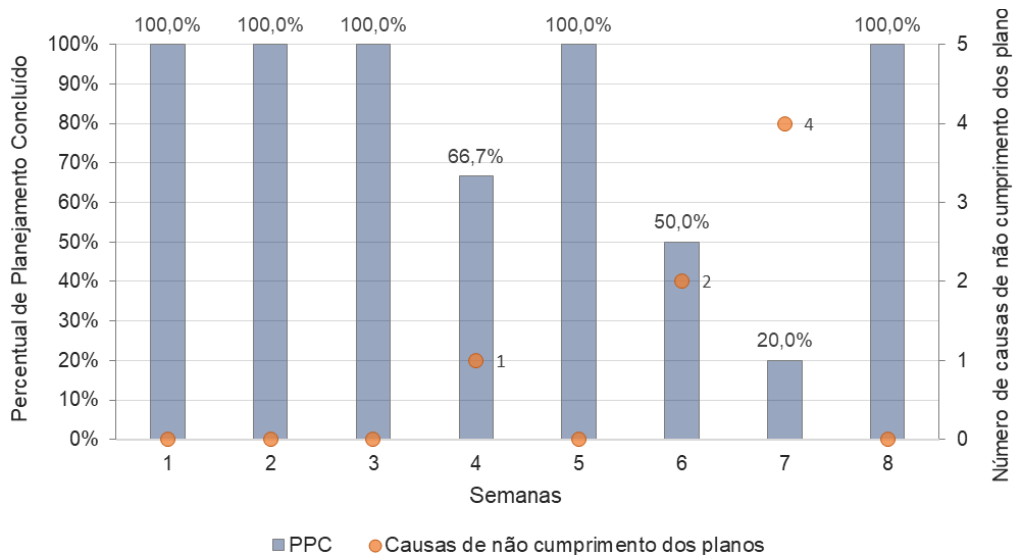


Fonte: A autora.

Na Figura 44 pode-se observar a relação entre os resultados do PPC e o número de causas de não cumprimento para cada semana da obra. Na sétima semana da obra que apresenta o menor resultado de PPC (20%) ocorreu o maior número de causas de não cumprimento. Já nas semanas com os melhores resultados de PPC (100%), todos os pacotes de trabalho programados foram executados não ocorrendo interferências/problemas na sua realização.

O PPC médio para as oito semanas da obra foi de 79,6%, valor superior aos compilados por Moura (2008) para a indústria da construção em países como Finlândia, Brasil, Reino Unido, Chile e Colômbia (de 63,0 a 75,5%).

Figura 44 - Evolução do PPC e da distribuição do número de causas de não cumprimento dos planos de curto prazo durante as semanas de execução da obra



Fonte: A autora.

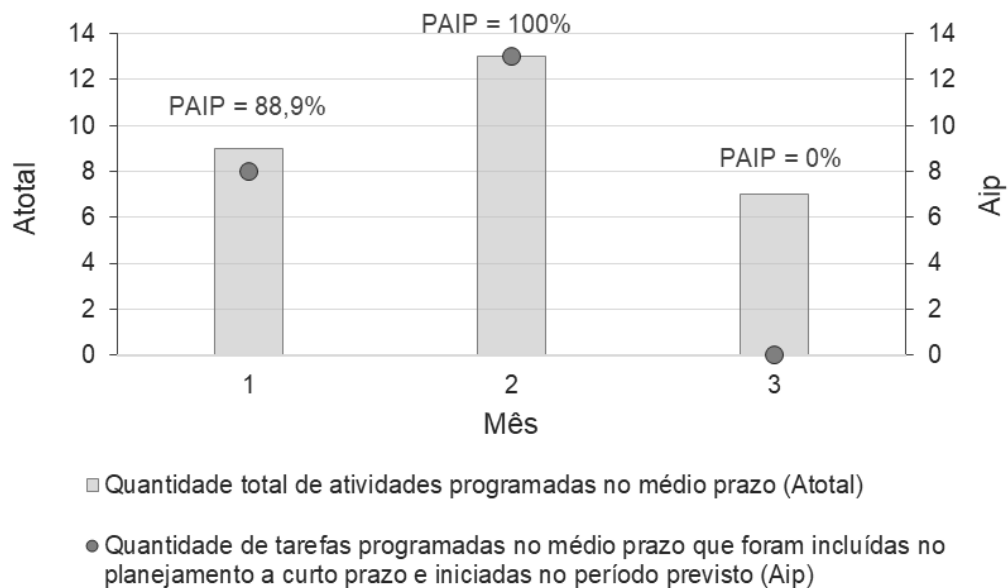
Fazendo uma análise crítica do valor de PPC médio obtido para a obra, de quase 80%, este resultado pode ser considerado muito bom, revelando a eficácia do processo de planejamento e da qualidade dos planos de curto prazo, uma vez que as metas planejadas só não foram totalmente atingidas por causas climáticas, alheias à empresa executante. Os pacotes de trabalho foram apropriadamente dimensionados à capacidade produtiva da equipe de trabalho, e a adequada análise das restrições permitiu a sua remoção atempadamente não causando impactos negativos na execução da obra.

Em relação ao índice de erros na entrega de materiais, o resultado obtido foi de 14,3%, onde do total dos sete lotes de materiais entregues na obra apenas um apresentou não conformidades. O lote que apresentou irregularidades foi o das plantas, que foram consideradas apenas como um lote, uma vez que são provenientes de um único fornecedor. O erro identificado relacionou-se à entrega de uma das espécies herbáceas que divergia das especificações de projeto e das informações repassadas ao fornecedor. Desta forma, pode assumir-se que os fornecedores de modo geral apresentam confiabilidade e que as programações de recursos elaboradas no médio e curto prazo com a indicação das datas-marco limite foram eficazes a prover as informações necessárias ao departamento de suprimentos para atendimento das metas estabelecidas no planejamento.

O indicador de percentagem de atividades iniciadas no prazo (PAIP) avalia a consistência entre os planos de médio e curto prazo, por meio da relação entre as tarefas programadas no plano de médio prazo incluídas no plano de curto prazo e efetivamente iniciadas no período previsto. O indicador foi coletado mensalmente e na Figura 45 pode ser observada a sua evolução ao longo dos três meses planejados para a execução da obra.

No primeiro mês o indicador apresentou um valor relativamente alto de 88,9%. No segundo mês o resultado foi de 100%, valor atingido após revisão do plano de médio prazo desse mês. Estes resultados indicam que houve consistência entre os planos de médio e curto prazo o que demonstra a eficácia do planejamento de médio prazo. No terceiro mês o resultado foi de 0%, uma vez que nenhuma das atividades previstas no plano de médio prazo foi iniciada devido à alteração da condição da obra por submersão das áreas de intervenção.

Figura 45 - Evolução do percentual de atividades iniciadas no prazo (PAIP) ao longo dos três meses de execução da obra.



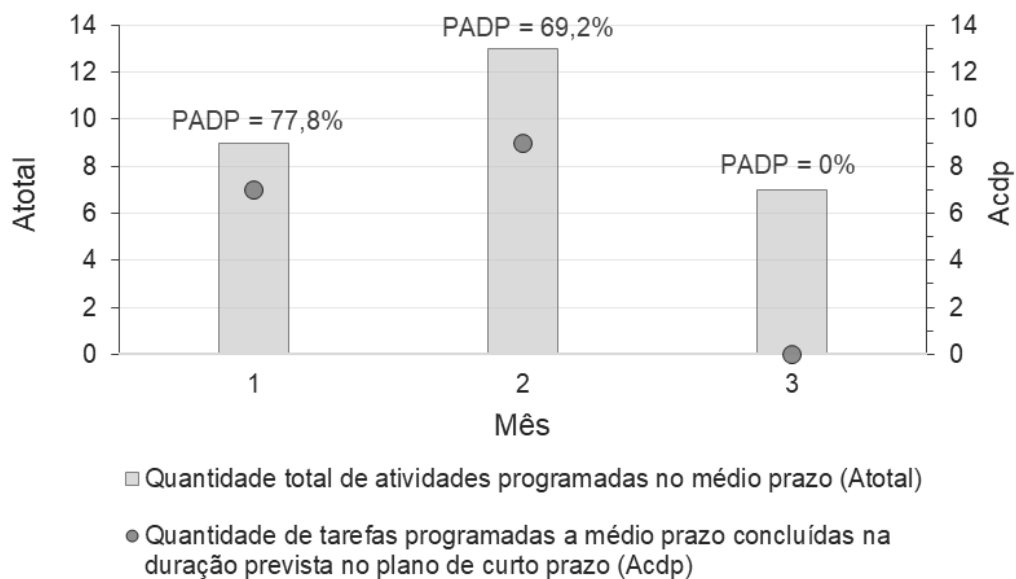
Fonte: A autora.

O indicador de percentagem de atividades concluídas na duração prevista (PADP) avalia a eficácia do planejamento de médio prazo, por meio da relação entre as tarefas programadas no plano de médio prazo incluídas no plano de curto prazo e efetivamente concluídas na duração prevista. O indicador foi coletado mensalmente e

na Figura 46 pode ser observada a sua evolução ao longo dos três meses planejados para a execução da obra.

No primeiro mês o indicador apresentou um valor de 77,8%. Este valor deve-se a dois fatos distintos sendo eles os seguintes, na terceira semana uma das tarefas terminou antes da duração prevista e na quarta semana uma das tarefas não foi sequer iniciada. Já no segundo mês o valor obtido foi de 69,2%, valor resultante de duas semanas consecutivas em que as tarefas programadas não foram concluídas devido às condições climáticas e à elevação do nível da água no reservatório. No terceiro mês o resultado foi de 0%, uma vez que nenhuma das atividades previstas no plano de médio prazo foi iniciada/concluída devido à alteração da condição da obra por submersão das áreas de intervenção.

Figura 46 - Evolução do percentual de atividades concluídas na duração prevista (PADP) ao longo dos três meses de execução da obra.



Fonte: A autora.

Estes resultados indicam que o planejamento de médio prazo não apresentou o grau de exatidão máximo na duração das tarefas, mas que as falhas no grau de acerto da duração das atividades foram majoritariamente devido a condições externas ao processo de planejamento. Durante a elaboração do planejamento foram considerados dias com condições climáticas adversas no dimensionamento da duração executiva dos pacotes de trabalho, com base em séries históricas fornecidas pela operadora da concessão para a precipitação e nível de água no reservatório nos

meses da obra. No entanto, essas séries históricas não refletiram as condições que ocorreriam em 2018, ano em que as precipitações foram acima da média em toda a bacia de contribuição da UHE Machadinho e UHE Itá.

O indicador da projeção do atraso da obra proposto na metodologia não foi calculado, uma vez que o mesmo não reflete a realidade da obra devido às condições impostas pela elevação do nível de água. O indicador mostraria que a obra está muito atrasada em relação ao planejado no plano mestre de longo prazo, uma vez que a obra deveria terminar dia 15 de outubro de 2018 e até a presente data a mesma não foi concluída. Conforme explicado anteriormente, esta situação decorre do fato que as técnicas que não foram concluídas (feixes, esteira e siltação viva), devido à submersão da área devem ser obrigatoriamente executadas no período de repouso vegetativo que terminou dia 21 de setembro de 2018. A próxima época de repouso vegetativo ocorrerá no inverno de 2019, período em que as técnicas deverão ser executadas. Desta forma, a obra foi interrompida e reagendada com o cliente para o início do mês de julho de 2019, sendo que nesta condição o indicador iria projetar um atraso de quase nove meses em relação ao previsto, situação esta que não é a realidade da obra. Considerando a duração das tarefas em falta dimensionadas no plano mestre elaborado em 2018 e com base nos ritmos de trabalhos obtidos durante a execução das outras atividades, a obra em 2019 deverá ter uma duração de duas semanas.

No final da execução dos trabalhos foram coletados indicadores de desempenho que visam avaliar o desempenho global da obra, bem como melhorar o processo de planejamento e controle da produção de obras futuras, com base em resultados qualitativos que auxiliam o processo de melhoria contínua da empresa.

O indicador de desvio de prazo de obra não foi calculado pelas mesmas razões expostas para o indicador de projeção de atraso. A obra deveria terminar dia 15 de outubro de 2018, no entanto o último dia de trabalho foi dia 21 de setembro e restaram tarefas que teriam duração prevista de duas semanas. Caso não tivesse ocorrido interrupção da obra devido à elevação do nível da água e o ritmo da produção fosse mantido, a obra provavelmente teria terminado dia 5 de outubro. Nesse caso a duração total da obra teria sido de 50 dias úteis de trabalho, valor inferior aos 56 dias programados inicialmente no plano mestre, e o resultado do cálculo do indicador de desvio de prazo seria de -10,7%.

No que diz respeito aos indicadores de custo, nomeadamente desvio do custo parcial da obra (coletado durante a execução) e o desvio de custo da obra (coletado no final da execução), não serão apresentados os resultados, uma vez que no âmbito da elaboração desta tese a empresa A não disponibilizou os dados necessários para o cálculo desses indicadores. No entanto, foi repassada a informação que o indicador de desvio de custo final da obra terá um resultado de cerca de -10%, o que significa que obra teve um custo real inferior ao custo orçado, o que mostra um bom desempenho da empresa na execução da obra.

O indicador de produtividade por serviços foi coletado no final da execução dos trabalhos com base nos planos de curto prazo. A produtividade por serviços foi calculada para cada técnica de intervenção especificada em projeto executivo considerando todas as tarefas e funcionários envolvidos na execução da mesma. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da produtividade de cada técnica. No caso da siltação viva não é apresentado resultado, uma vez que a técnica ainda não foi executada. Já no caso dos feixes e esteira viva, apesar das intervenções não terem sido concluídas, foi possível fazer o cálculo com base na metragem executada, conforme quantidades executadas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 2 - Resultados do indicador produtividade por serviços (Iprod) para cada técnica de intervenção. * técnicas de intervenção não concluídas; ** técnica de intervenção não executada.

Técnica de intervenção	Produtividade por serviço (Iprod)
Preparação prévia da área	0,064 h/m ²
Paliçada de madeira	72,0 h/m ²
Feixes vivos *	1,986 h/m
Esteira viva *	0,966 h/m ²
Siltação viva **	-
Plantio de mudas arbustivas	0,010 h/un
Plantio de mudas arbóreas	0,097 h/un
Plantio de mudas herbáceas	0,009 h/un

Fonte: A autora.

É possível observar que os resultados de cada técnica são diferentes entre si e não devem ser utilizados para comparação entre técnicas distintas. No caso do

plantio de mudas arbustivas e herbáceas os resultados são relativamente semelhantes, enquanto que o valor para o plantio de mudas arbóreas é superior, devido à maior complexidade envolvida no plantio de árvores.

A coleta do indicador de produtividade é muito importante para auxiliar o processo de orçamentação e programação da duração das atividades em obras futuras. Também pode ser utilizado para comparação com o desempenho da produção de outras obras com técnicas e procedimentos construtivos idênticos.

O indicador de não conformidade visa avaliar a qualidade dos serviços prestados, além de identificar qual a causa a que se deve a não conformidade. A ocorrência de não conformidades nos serviços prestados pode levar à não aceitação da obra por parte do cliente. No final da execução dos trabalhos foi realizada a verificação de todas as técnicas executadas seguindo as especificações de projeto e os critérios do cliente. No total foram realizadas seis verificações e foi encontrada uma não conformidade, relativa a uma das espécies utilizadas no plantio de mudas herbáceas, que não alcançou o valor mínimo admissível de 80% definido para a taxa de sobrevivência das plantas, de acordo com a especificação definida pelo cliente. Desta forma, o indicador de não conformidade obteve o valor de 16,7%. Esta não conformidade resultou do erro do fornecedor do lote das plantas, que entregou a espécie em causa em desconformidade com as especificações do projeto executivo.

A execução dos trabalhos terminou dia 21 de setembro e três meses depois foi avaliada a taxa de sobrevivência das plantas para cálculo do respectivo indicador. O valor mínimo admissível estabelecido pelo cliente foi de 80% e a avaliação da sobrevivência foi realizada por técnica implantada. A avaliação resultou em valores próximos de 100% para o plantio de espécies arbustivas e arbóreas. No caso das espécies herbáceas o resultado obtido para o indicador de sobrevivência foi de 51%, valor muito inferior ao mínimo admissível definido pelo cliente. A causa do baixo resultado foi a mesma identificada nos indicadores de não conformidade e erros na entrega dos materiais, ou seja, uma das espécies herbáceas fornecidas não seguiu as especificações definidas em projeto, e devido a esse fato, apresentou elevada taxa de mortalidade. A análise dos resultados desses indicadores em conjunto com os excelentes resultados de sobrevivência das outras espécies corrobora que os procedimentos de plantio, armazenamento e transporte das plantas utilizados pela

empresa foram adequados, e que não necessitam de ser tomadas medidas corretivas em relação aos mesmos.

Em relação ao indicador de retrabalho, até à data de elaboração desta tese não foram realizados retrabalhos, uma vez que a execução da obra seguiu as especificações do projeto executivo. No entanto, a empresa irá, numa data futura realizar retrabalho relacionado aos resultados obtidos nos indicadores de não conformidade e sobrevivência das plantas, nomeadamente proceder ao replantio da espécie herbácea que apresentou resultado inferior ao mínimo admissível definido pelo cliente. Apesar da produção das plantas não ter sido responsabilidade da empresa A, no futuro devem ser tomadas ações corretivas que evitem a ocorrência de situações semelhantes. Ou seja, o engenheiro ou o encarregado da obra devem realizar uma visita ao viveiro florestal antes de proceder ao transporte das plantas, de forma a avaliar a conformidade das espécies, seguindo as especificações de projeto e posteriormente fazer a aprovação ou não dos lotes. Esta medida corretiva evita a ocorrência de perdas associadas à realização de retrabalhos.

Por fim, foi calculado o indicador de satisfação do cliente, baseado na análise do questionário respondido pelo cliente sobre a qualidade dos serviços prestados pela empresa A. Na parte A do questionário referente ao relacionamento entre a empresa A e o cliente, o cálculo do indicador resultou no valor de 3,0 o que indica que o cliente está satisfeito com a empresa executante. Na parte B referente aos serviços técnicos prestados, o cálculo do indicador resultou no valor de 3,11 o que indica que o cliente também está satisfeito com a empresa executante em relação à execução dos serviços técnicos. Na parte C, o cliente registrou que de forma geral se encontra satisfeito com a empresa A e que a contrataria novamente para a realização de novos serviços. Não foram registrados comentários ou sugestões adicionais.

5.8 AVALIAÇÃO DO PROCESSO

No final da obra foi realizada a avaliação do processo de planeamento e controle da produção. Foram identificados os problemas que ocorreram durante o processo de dimensionamento das atividades e pacotes de trabalho, os resultados obtidos com os indicadores de desempenho e as principais causas de não cumprimentos das metas estabelecidas. Posteriormente essas informações foram

discutidas em reunião com os principais intervenientes no processo nomeadamente, responsáveis da empresa A, representantes do cliente e projetistas.

Verificou-se que o processo de planeamento da obra, de forma geral foi bem concretizado, a obra foi tecnicamente bem executada e que a não conformidade encontrada não foi resultante de práticas executivas incorretas. Além disso, os pacotes de trabalho foram apropriadamente dimensionados à capacidade produtiva da equipe de trabalho, e a adequada análise das restrições permitiu a sua remoção antecipada não causando impactos negativos nos prazos da obra.

No entanto, para empreendimentos futuros, principalmente onde ocorra influência do nível de água (como reservatórios ou outros sistemas fluviais), durante a elaboração do planeamento devem ser considerados dias de reserva no dimensionamento da duração das tarefas, caso ocorra alteração nas condições da obra. A empresa no futuro também deverá atentar para o recebimento e conferência dos lotes fornecidos, principalmente os das plantas que apresentam especificidades distintas dos materiais inertes. Estas medidas visam que a empresa executante não incorra em perdas e gastos que não agregam valor ao produto final.

Também foram analisadas as respostas do questionário de satisfação do cliente. Verificou-se que o cliente encontra-se satisfeito com o desempenho da empresa A e que voltaria a contratar a mesma para a execução de novos serviços. Apesar dos desvios ocorridos nos planos de médio e curto prazo em relação aos prazos da obra, a identificação das causas de não cumprimento e a sua divulgação para o cliente foi importante para o estabelecimento de uma relação de confiança entre o cliente e a empresa executante.

5.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A presente tese teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de planeamento e controle da produção levando em consideração os princípios da *lean construction*. Após desenvolvimento da metodologia, a mesma foi empregue numa obra piloto com o objetivo de avaliar a sua aplicabilidade e funcionalidade para fazer a gestão de um sistema de produção com elevado grau de variabilidade. Nesta seção são apresentadas as considerações sobre a metodologia, a forma como a mesma

integra os princípios da *lean construction* e as diretrizes para o seu sucesso numa organização.

O sistema de planejamento e controle de produção proposto possui vários ciclos de retroalimentação, onde tanto o planejamento como a produção são alvo de avaliações com o objetivo de identificar a ocorrência de problemas que coloquem em causa as metas estabelecidas. A realização dos ciclos de retroalimentação é feita por meio do sistema de indicadores de desempenho que fornecem os dados necessários ao processo de tomada de decisão.

Os ciclos de controle da produção de curta duração resultam em benefícios relacionados ao princípio da redução do tempo de ciclo da *lean construction*, nomeadamente a rápida identificação dos problemas, a diminuição de estimativas de longo prazo e a realização de ações corretivas de forma rápida. Além disso, a criação de um controle sistemático de curto prazo promove as condições necessárias para a ocorrência de melhoria contínua.

Os ciclos de controle estabelecidos na metodologia realizam-se semanalmente, por meio da medição do percentual de planejamento concluído (PPC) e da análise sistemática das causas de não cumprimento das tarefas programadas. Desta forma podem ser tomadas medidas para evitar ou mitigar a reincidência de problemas de uma semana para a outra, o que aumenta a produtividade das equipes de trabalho e melhora os resultados de desempenho da obra.

Um dos princípios fundamentais da *lean construction* é a redução das atividades que não agregam valor, uma vez as mesmas geram desperdício de recursos e de tempo. Este princípio também se relaciona diretamente com o princípio da redução do tempo de ciclo. A metodologia de PCP implementa estas diretrizes, por meio da elaboração da Estrutura Analítica de Partição do Projeto (EAP) que, através da consideração de todas as tarefas essenciais e obrigatórias para a execução da obra, evita que sejam realizadas tarefas desnecessárias que não agregam valor ao produto final. O zoneamento da obra, com a definição dos locais adequados para armazenamento dos diversos materiais em função da distribuição das técnicas reduz as atividades de movimentação durante a execução da obra e evita o desperdício de tempo e recursos. A análise das restrições e a sua remoção atempadamente reduzem os tempos ociosos da mão de obra e máquinas que diminuem a produtividade durante a execução da obra. A utilização de indicadores de desempenho, como por exemplo, o índice de erros na entrega dos materiais, o PPC e as causas de não cumprimento

dos planos promovem o uso racional dos recursos, o atendimento das metas definidas e evitam a reincidência de erros, o que reduz as atividades de retrabalho que não agregam valor, além de aumentarem a eficiência e a eficácia da obra.

O aumento da transparência do processo é um dos princípios de maior importância na *lean construction*. O desenvolvimento da metodologia de planejamento e controle da produção visou a implementação desse princípio em diversas etapas. A elaboração de planos nos três níveis hierárquicos de planejamento e a sua divulgação para todos os setores envolvidos na execução da obra promove a transparência dentro da organização. No nível estratégico e tático, a elaboração da programação de recursos com a identificação de datas limite de fornecimento e a sua divulgação para outros departamentos da empresa, foram eficazes a prover as informações necessárias, o que aumenta a transparência do processo. A preparação do zoneamento da obra e da EAP, nas etapas preliminares e a sua disponibilização no canteiro de obra, torna o processo de produção mais organizado e transparente. No nível operacional de curto prazo, a utilização do PPC e das causas de não cumprimento das tarefas semanais contribuem para uma melhor compreensão do que ocorre no fluxo de trabalho, promovendo o aumento da transparência do processo.

A utilização de indicadores de desempenho e a divulgação dos seus resultados para todos os envolvidos no planejamento e controle, também, promove a transparência do processo de produção. Além disso, os resultados obtidos por meio dos indicadores de desempenho possibilitam a realização de *benchmarking*, ou seja, a comparação com resultados obtidos por outras empresas ou com outros valores de referência no mercado. Apesar de atualmente não existirem valores de referência de *benchmark* para obras ou técnicas de Engenharia Natural, devido à recente demanda e expansão destas intervenções, a adoção deste sistema tem em vista a sua divulgação e utilização futura. Desta forma, poderão ser realizadas comparações com os indicadores de outras obras e/ou empresas, promovendo a utilização de métodos ou tecnologias de produção mais eficientes e eficazes, levando em conta as melhores práticas existentes no mercado e que visam a melhoria contínua da empresa.

A redução da variabilidade ou da incerteza associada à execução de uma obra é implementada por meio da aplicação sistemática do conceito de produção protegida. Este conceito consiste em garantir a redução de incerteza do fluxo de trabalho por meio da seleção de tarefas de qualidade. A elaboração de programações de recursos

no longo e médio prazo com a indicação das datas-marco limite que providenciem as informações necessárias aos departamentos de suprimentos e de recursos humanos, bem como a disponibilização desses recursos na obra nas datas programadas, permitem que sejam incluídas nos planos de curto prazo as tarefas programadas para as quais as restrições foram removidas e por isso são passíveis de serem executadas. Além disso, a inclusão de pacotes de trabalho de reserva nos planos semanais que garantem a continuidade da obra, caso venham a ocorrer imprevistos com as tarefas planejadas programadas também promove a proteção da produção. Esta estratégia é denominada de produção protegida, uma vez que protege a produção contra as incertezas relacionadas à disponibilidade dos recursos.

A simplificação pela redução do número de passos ou partes reduz o tempo de ciclo e as atividades que não agregam valor à obra. Este princípio foi estabelecido através da adequada definição do zoneamento de obra que diminuiu as atividades de movimentação. Além disso, a utilização de uma equipe de trabalho com funcionários polivalentes, como por exemplo o barqueiro que também realizava outras tarefas, também contribui para a redução do número de partes, além de contribuir para a flexibilização na execução da obra.

A integração dentro da organização empresarial proposta nesta metodologia, nomeadamente entre a direção, os departamentos de produção, de recursos humanos e de suprimentos é essencial para melhorar o desempenho global da produção. Desta forma, ocorre uma gestão participativa, onde funcionários de todos os níveis hierárquicos aderem aos planos, compartilham informações e trocam experiências. No nível operacional a gestão participativa melhora a qualidade dos planos que contribui para a proteção da produção, aumento da produtividade das equipes, bem como para a melhoria contínua no desempenho global da obra. O planejamento, controle e análise do processo como um todo promove a identificação e a correção de desvios que possam interferir com as metas definidas para a obra.

Outro princípio fundamental da *lean construction* é a consideração sistemática dos requisitos dos clientes. A realização de reuniões com o cliente e projetistas, sejam na fase de preparação do processo, durante a obra ou no final para avaliação do processo é muito importante para a implementação deste princípio. Desta forma, foram consideradas as informações, demandas e requisitos definidos pelo cliente, diminuindo a realização de retrabalhos que não agregam valor.

A implementação desta metodologia de PCP promoveu os princípios da *lean construction* que estão todos relacionados entre si. À medida que estes princípios são implementados na empresa ocorre melhoria contínua no processo de produção e dentro da própria organização. Desta forma, pode-se afirmar que todos os princípios da *lean construction* visam a implementação de um princípio comum que é a melhoria contínua. A melhoria contínua dentro da organização envolve não só aspectos técnicos, mas também mudanças de caráter comportamental. Essas mudanças resultam de um processo de aprendizagem e são essenciais para o comprometimento efetivo dos agentes que participam no processo e consolidar o sistema de planejamento e o controle da produção na organização.

Para que a implementação de uma metodologia de planejamento e controle de produção em obras de Engenharia Natural tenha o sucesso dentro de uma organização devem ser consideradas as seguintes diretrizes:

- Preparar as empresas para a mudança comportamental necessária para a implementação do processo de planejamento e controle da produção;
- Fomentar os questionamentos e a reflexão sobre os problemas e suas causas, promovendo a gestão participativa, a aprendizagem e o desenvolvimento de competências organizacionais,
- Vincular o planejamento e controle da produção ao posicionamento estratégico da empresa;
- O planejamento e controle da produção é um processo gerencial transversal aos diversos níveis hierárquicos da organização;
- Fazer a gestão das interfaces do planejamento e controle da produção com os outros processos, tais como recursos humanos, suprimentos, fornecedores, planejamento do canteiro, entre outros;
- Atentar aos fatos de que as obras de Engenharia Natural têm como características principais serem bastante variadas, com peculiaridades específicas nas diferentes obras, baixa repetitividade, alta interferência do cliente, curto prazo de execução e restrições construtivas principalmente devido à utilização de material construtivo vivo;
- O planejamento deve ser utilizado para minimizar a incerteza e os seus efeitos negativos;
- Integrar o planejamento físico da obra com o controle de custos;

- Os funcionários devem estar capacitados para realizar o controle da produção em tempo real para que seja viável a aplicação de ações corretivas em tempo hábil;
- A gestão de fluxos existentes na obra (fluxo de trabalho, de materiais e de execução das tarefas) é tão importante como as atividades de conversão que agregam valor;
- Devem ser utilizados indicadores de desempenho durante e no final da execução da obra, com definição clara da sua inserção no processo e critérios de coleta.
- A avaliação de desempenho é uma atividade inerente ao processo de aprendizagem que consolida conceitos e que cria uma memória na organização;

O sistema de planejamento e controle da produção proposto na metodologia dá enfoque na eficácia e eficiência do processo de execução da obra, segundo o prazo e a sequência programados, com o objetivo de aumentar a confiabilidade da produção. Com o aumento da confiabilidade é possível atingir maior visibilidade em relação à expectativa da conclusão da obra, bem como, à identificação de causas de desvios que interferem na sua execução, tais como falta de mão de obra, materiais e equipamentos. A previsibilidade também contribui para o aumento da eficiência no uso de recursos.

A definição de uma metodologia de planejamento e controle da produção para obras de Engenharia Natural é extremamente importante, uma vez que os processos só podem ser planejados e controlados a partir do momento que são definidos métodos e padrões de desempenho. Apesar desta metodologia estabelecer procedimentos e técnicas para a implementação do planejamento e controle em obras de Engenharia Natural, o processo de planejamento está em constante evolução através da aprendizagem e melhoria contínua dentro da organização, então novos procedimentos, técnicas ou indicadores de desempenho podem ser definidos se necessário.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento e controle da produção, normalmente não é considerado como um processo gerencial dentro de uma organização, e por isso é frequentemente confundido como o trabalho isolado de um departamento da empresa ou simplesmente como um método de geração de planos. Por sua vez, os planos elaborados sobre esta perspectiva carecem de uma base de informações consistente e de procedimentos definidos que garantam a sua correta elaboração e divulgação no formato adequado e em tempo útil. Como consequência desta visão reducionista, esses planos são rapidamente abandonados após a sua elaboração, não sendo implementados e adequados à realidade executiva das obras, nem utilizados para controle do desempenho das mesmas.

A falta de planejamento tende por isso, a tornar o processo de produção suscetível à incerteza e à variabilidade que resultam em interrupções na execução de obras, mudanças bruscas nos ritmos de produtividade, má qualidade dos produtos finais e outros problemas que tendem a diminuir a eficiência e eficácia da produção.

Um dos principais objetivos de um sistema de planejamento e controle da produção é minimizar os efeitos dessa incerteza, inerente à atividade da construção, por exemplo, através da hierarquização do processo, da redução das atividades que não agregam valor, da implementação de ciclos de controle de curto prazo, remoção de restrições no tempo adequado, consideração sistemática dos requisitos dos clientes, aumento da transparência, entre outros princípios.

Partindo destas premissas e considerações, a presente tese teve como objetivo criar uma metodologia de planejamento e controle de obras de Engenharia Natural funcional e de utilização acessível, visando a aplicação dos princípios fundamentais da *lean construction*.

A metodologia proposta nesta tese auxilia as micro e pequenas empresas envolvidas no setor de obras de Engenharia Natural ou de Recuperação de Áreas Degradadas a implementar um sistema de planejamento e controle de produção, criando condições favoráveis para que sistemas de gestão de qualidade sejam difundidos neste segmento. O modelo desenvolvido está vinculado à fundamentação teórica, visando a implementação e consolidação dos conceitos e princípios da *lean construction* à realidade das obras de Engenharia Natural.

As obras de Engenharia Natural devido ao seu grau de complexidade executiva e alta variabilidade não se encaixam no modelo tradicional de conversão, uma vez que são compostas por atividades de conversão e de fluxo. Desta forma, um sistema baseado nos princípios propostos pela *lean construction* adapta-se melhor a essas especificidades, uma vez que sem a compreensão das atividades de conversão e de fluxo torna-se difícil tomar decisões adequadas que venham a mitigar ou a eliminar as causas de desvios de prazo, custo e qualidade.

A metodologia visa melhorar o desempenho das obras de Engenharia Natural, objetivo particularmente pertinente no contexto brasileiro. A execução destas técnicas no Brasil é relativamente recente e o conhecimento das empresas de construção ainda é muito incipiente em relação aos métodos e procedimentos construtivos que ainda se encontram em fase de consolidação. Esta situação pode originar perdas de recursos, além de causar a entrega de obras de menor qualidade que não atendam às especificações definidas em projeto e principalmente às exigências e requisitos dos clientes. A gestão das obras com base no planejamento e controle da produção pode ajudar a estabelecer um processo contínuo de aprendizagem integrado em todos os níveis hierárquicos da empresa e que visa a melhoria contínua do processo produtivo, evitando perdas de recursos e aumentando o grau de satisfação dos clientes com o produto final e com a empresa executante.

O modelo de planejamento e controle da produção proposto pode ser considerado como um instrumento de integração entre as diferentes funções gerenciais da empresa, principalmente no que se refere à mitigação das perdas no processo de produção sejam elas associadas a custos, prazos ou qualidade, proporcionando consistência, transparência e racionalidade na coleta e disseminação das informações dentro da organização.

Esta tese também apresenta uma contribuição quanto à concepção, implementação e utilização de um sistema de indicadores para medição de desempenho em empresas de execução de obras de Engenharia Natural, inovador a nível internacional. A simplicidade foi considerada um requisito fundamental para a seleção e implementação dos indicadores de desempenho, com os objetivos de facilitar a coleta de dados, o cálculo e obtenção dos resultados, a acessibilidade desses resultados a todos os intervenientes do processo produtivo e principalmente a compreensão dos resultados obtidos. Pode-se afirmar que só através do entendimento dos resultados obtidos e das causas de desvios, que auxiliam o

processo de tomada de decisão, podem ser implementadas medidas corretivas que visem a melhoria contínua do processo e da organização como um todo.

Apesar da sua reconhecida importância mundial, a medição de desempenho ainda é pouco utilizada no setor da construção. Esta condicionante deve-se principalmente ao fato de que muitos gerentes e engenheiros tendem a tomar decisões baseadas na sua experiência e intuição pessoal, mas também pela ausência de sistemas de medição adequados às particularidades do setor ou ainda desconhecimento teórico de como implementar este processo de medição. Desta forma, esta tese pretendeu preencher essas lacunas, dando ênfase ao setor da execução de obras de Engenharia Natural, especificando um sistema de medição através de indicadores de desempenho de forma a auxiliar o processo de mudança comportamental e facilitar a implementação do processo do ponto de vista operacional.

Mediante a implementação de uma metodologia de planejamento e controle de produção, as empresas podem definir estratégias e critérios mais competitivos, dos quais se destacam aqueles relacionados ao **custo**, com desenvolvimento de produtos finais com menor custo, o que aumenta a competitividade face a outras empresas e a eficiência em produzir mais utilizando menos recursos; ao **desempenho da entrega**, com aumento da velocidade de produção e da confiabilidade da entrega do produto no prazo estipulado; à **flexibilidade** relacionada à capacidade que o sistema produtivo tem em responder às solicitações internas e externas à empresa; à **qualidade**, por meio da execução de produtos finais com melhor desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade entre outros; e por fim à **capacidade de inovação**, através da implementação de novas tecnologias por meio de metodologias bem conceituadas e estruturadas que visam a melhoria contínua.

Não existe um sistema certo ou perfeito para o planejamento e controle da produção em obras de Engenharia Natural. Isto decorre do fato que este setor apresenta grande variabilidade e alto grau de incerteza associada, sendo por isso impossível prever todas possibilidades, devido ao amplo conjunto de situações e/ou problemas que podem ocorrer. Por isso, não é possível apresentar um método rígido que seja eficaz face a qualquer situação e que as diretrizes e ferramentas propostas nesta tese pudessem contemplar. Assim sendo, torna-se necessário prover as pessoas que participam do processo de planejamento e controle da produção de

senso crítico e de conhecimentos técnicos para que elas tenham a capacidade de interpretar e entender novas situações/problemas e adaptem os métodos e procedimentos existentes, de forma a fornecerem respostas que são necessárias à empresa dentro do contexto real da obra. Esta visão e mudança comportamental pode representar uma vantagem competitiva de uma empresa em relação às suas concorrentes. Desta forma, o modelo proposto poderá sofrer alterações à medida que o processo de aprendizagem, consolidação dos conceitos e melhoria contínua ocorrerem dentro da organização. Nesse caso novos métodos, procedimentos, técnicas ou indicadores de desempenho podem ser estabelecidos.

Dentro do tema desta tese destacam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Aperfeiçoamento da metodologia proposta através da introdução da técnica de Gestão do Valor Agregado para controle de custos e prazos, em empresas onde os conceitos e métodos de planejamento e controle da produção já se encontrem bem consolidados e difundidos;
- Investigar a aplicabilidade do modelo proposto em empresas de maior porte;
- Desenvolver mecanismos para facilitar a divulgação e implementação da utilização de sistemas de indicadores de desempenho em empresas de execução de obras de Engenharia Natural e Recuperação de Áreas Degradadas;
- Desenvolver critérios para avaliar se os indicadores de desempenho selecionados são adequados para controlar o desempenho da produção e monitorar se as estratégias almejadas estão a ser alcançadas;
- Implementar uma estratégia para divulgação dos indicadores de desempenho coletados e estimular o processo de *benchmarking* em obras de Engenharia Natural e Recuperação de Áreas Degradadas.

REFERÊNCIAS

- ABATE, I.; GROTTA, M. **Ingegneria Naturalistica - Costruire con le Piante - Linee guida all'impiego delle piante negli interventi di ingegneria naturalistica in ambito mediterraneo**. Benevento: Edizione Lume, 2009.
- ABNT. **Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário - NBR ISO 9000:2015**, 2015a.
- ABNT. **Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos - NBR ISO 9001:2015**, 2015b.
- AMBROZEWICZ, P. H. L. **Qualidade na prática: conceitos e ferramentas**. 1ª ed. Curitiba: SENAI, 2003.
- AVILA, A. V.; JUNGLES, A. E. **Gestão do Controle e Planejamento de Empreendimentos**. 1ª Edição ed. Florianópolis: Autores Catarinenses, 2013.
- BALLARD, G. **Lookahead planning: the missing link in production control**. Proceedings 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...** In: 5TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Gold Coast, Australia: 1997
- BALLARD, G.; HOWELL, G. **Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow**. Proceedings 2nd Annual Conference on Lean Construction. **Anais...** In: 2º ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION. Universidade Católica do Chile, Santiago: 1994
- BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding Production: Essential Step in Production Control**: Technical Report 97-1. University of California: Construction Engineering and Management Program, Department of Civil Engineering, 1997.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding Production: Essential Step in Production Control**. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11–17, 1998.
- BALLARD, H. G. **The last planner system of production control**. Tese de Doutorado - Birmingham: University of Birmingham, 2000.
- BARRA, R. B. M. et al. **Elaboração de rede PERT/CPM na indústria da construção civil através da utilização do software MS Project: um estudo de caso**. Anais XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - “A GESTÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO E AS PARCERIAS GLOBAIS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DOS SISTEMAS PRODUTIVOS”. Salvador, BA, Brasil: 2013

BERNARDES, M. M. E S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese de Doutorado - Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

BERNARDES, M. M. E S. **Planejamento e Controle da Produção para empresas de construção civil**. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

BERSSANETI, F. T.; BOUER, G. **Qualidade: conceitos e aplicações - Em produtos, projetos e processos**. 1ª ed. São Paulo, Brasil: Blucher, 2013.

BIRRELL, G. S. Construction Planning - Beyond the Critical Path. **Journal of the Construction Division**, v. 106, n. 3, p. 389–407, 1980.

BLOEMER, S. et al. **European Guidelines for Soil and Water bioengineering**. [s.l.] Europäische Föderation für Ingenieurbiologie, 2015.

BOURNE, M. et al. Designing, implementing and updating performance measurement systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 7, p. 754–771, 2000.

CAMPOS, V. F. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 1992.

CHITLA, V. R. **Performance Assessment of Planning Processes During Manufactured Housing Production Operations Using Lean Production Principles**. Dissertação de Mestrado - East Lansing, USA: Michigan State University, Department of Construction Management, 2003.

CORNELINI, P.; FERRARI, R. **Manuale di Ingegneria Naturalistica per le Scuole secondarie**. Roma, Itália: Regione Lazio, 2008.

CORNELINI, P.; SAULI, G. **Manuale di Indirizzo delle Scelte Progettuali per Interventi di Ingegneria Naturalistica**. Roma, Itália: Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Difesa del Suolo, Progetto Operativo Difesa Suolo (PODIS), 2005.

CÔRREA, H. L.; CÔRREA, C. A. **Administração de Produção e Operações - Manufatura e Serviços: Uma abordagem estratégica**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistema de indicadores de desempenho para empresas da construção civil**. Mestrado - Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

COSTA, D. B. et al. **Sistema de indicadores para benchmarking na construção civil: Manual de utilização**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, 2005.

COSTA, D. B. **Medição de desempenho para empresas de construção civil**. Goiânia: UFRGS/NORIE, 2005.

CROWTHER, D. E. A. Corporate performance operates in three dimensions. **Managerial Auditing Journal**, v. 11, n. 8, p. 4–13, 1 nov. 1996.

DEMING, E. W. **Qualidade: A Revolução da Administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DONAT, M. **Bioengineering Techniques for Streambank Restoration - A Review of Central European Practices**: Watershed Restoration Project Report 2. Canada: British Columbia, Watershed Restoration Program, Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests, 1995.

DURLO, M.; SUTILI, F. **Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água**. 3ª ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

FERNANDES, J.; FREITAS, A. **Introdução à Engenharia Natural**. Portugal: EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011.

FLEMING, Q. W.; KOPPELMAN, J. M. **Earned Value Project Management**. 4ª ed. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc., 2010.

FORMOSO, C. T. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Tese de Doutorado - Manchester, UK: University of Salford, 1991.

FORMOSO, C. T. et al. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Porto Alegre: UFRGS/NORIE, 1999.

FORMOSO, C. T. et al. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: UFRGS/NORIE, 2001.

GRENHO, L. F. S. **Last Planner System e Just-in-Time na construção**. Dissertação de Mestrado - Porto: Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2009.

HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais: estratégia revolucionária para aperfeiçoamento da qualidade, da produtividade e da competitividade**. São Paulo, Brasil: Makron Books, 1993.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to Operations Research**. 8ª ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2005.

ISATTO, E. L. et al. **Lean Construction: Diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

JAVAID, M.; HALEEM, A.; SHOEB, M. Integration of Just in Time and Total Quality Management with Supply Chain Management: Manufacturing Industry Perspective. **International Journal of Advance Research In Science And Engineering**, v. 3, n. 5, p. 21–29, 2014.

JURAN, J. M. **Qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. 3ª ed. São Paulo, Brasil: Pioneira, 1997.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford University, USA: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

KOSKELA, L. **Management of Production in Construction: A Theoretical View**. Proceedings IGLC-7. **Anais...** In: 7TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Berkeley, USA: University of California, 1999

KOSKELA, L. **An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction**. Espoo 2000 ed. Technical Research Centre of Finland: VTT Publications 408, 2000.

KRAEBEL, C. J. **Erosion control on mountain roads**. Washington D.C.: United States Department of Agriculture, 1936.

KRUEDENER, A. **Ingenieurbiologie**. Munich-Basel: Verl. E. Reinhardt, 1951.

KUBO, E. K. M. **Total Quality Management (TQM): a comparison between the TQM in Japan and the TQM in Brazil**. Mestrado - Japão: Kobe University, 2001.

LANTELME, E. M. V. **Proposta de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil**. Dissertação de Mestrado - Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

LANTELME, E. M. V.; TZORZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. T. **Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil: Gestão da Qualidade na Construção Civil: Estratégias e Melhorias de Processos em Empresas de Pequeno Porte**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001.

LAUFER, A. et al. The multiplicity concept in construction project planning. **Construction Management and Economics**, v. 12, n. 1, p. 53–65, 1994.

LAUFER, A. **Simultaneous management: managing projects in a dynamic environment**. New York, USA: AMACOM, 1997.

LAUFER, A. **Breaking the Code of Project Management**. 1ª ed. New York, USA: Palgrave Macmillan, 2009.

LAUFER, A.; L. TUCKER, R. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, v. 5, p. 243–266, 1987.

LEWIS, L. **Soil Bioengineering An Alternative for Roadside Management - A Practical Guide**. San Dimas, California, USA: United States Department of Agriculture, 2000.

LEWIS, L.; SALISBURY, S.; HAGEN, S. **Soil Bioengineering for Upland Slope Stabilization**. Seattle, Washington: Washington State Transportation Center (TRAC), 2001.

LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e controle da produção**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2008.

MAFFRA, C. R. B. **Resistência ao cisalhamento de solo com raízes: ensaios de cisalhamento direto in situ**. Tese de Doutorado - Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

MARSHALL JUNIOR, I. et al. **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2011.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1ª Edição ed. São Paulo, Brasil: Editora Pini, 2010.

MOURA, C. B. **Avaliação do impacto do sistema Last Planner no desempenho de empreendimentos da construção civil**. Dissertação de Mestrado - Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

NEELY, A. et al. Designing performance measures: a structured approach. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 11, p. 1131–1152, 1997.

NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 2, p. 205–228, 1 fev. 1999.

NOGUEIRA, F. **PERT/CPM - Apostila de aula de Pesquisa Operacional**. Juiz de Fora: UFJF, 2016.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)**. 4ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2008.

PMI. **Practice Standard for Earned Value Management**. 2ª ed. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc., 2011.

POLITO, G. **Gerenciamento de obras: boas práticas para a melhoria da qualidade e produtividade**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2015.

RAMOS, A. W. **CEP para Processos Contínuos e em Bateladas**. 1ª Edição ed. São Paulo, Brasil: Editora E. Blücher Ltda, 2000.

RAUCH, H. P. **Aplicação da Engenharia Natural em âmbito fluvial**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA NATURAL. Foz do Iguaçu, 2014.

SAULI, G.; CORNELINI, P.; PRETI, F. **Manuale d'Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico**. Roma, Itália: Regione Lazio, 2002.

SCHIECHTL, H. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press, 1980.

SEBRAE/MG. **Como elaborar controles financeiros**. 3ª ed. Belo Horizonte: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Minas Gerais, 2013.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planejamento e medição para a performance**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

SOTIR, R.; GRAY, D. H. **Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction**. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service ed. Washington, D.C.: Soil Conservation Service, USDA/NRCS, 1992.

SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. Dissertação de Mestrado - Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; SUTILI, F. J. **Projeto de Engenharia Natural Básico/Executivo - Margem Esquerda do Rio Ligeiro no ponto de Confluência com o Rio Uruguai localizado a jusante do Vertedouro da UHE Machadinho - Fase 1**. Santa Maria, Brasil: Laboratório de Engenharia Natural, Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; SUTILI, F. J. **Viabilidade econômica de uma obra de estabilização fluvial realizada com técnicas de Engenharia Natural**. Anais do XIII Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul. **Anais...** In: XIII CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL. Nova Prata: 2018a

SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; SUTILI, F. J. **Economic viability of streambank stabilization work with soil bioengineering applied to a pipeline stream crossing**

in brazil. Proceedings X Conference Soil and Water Bioengineering in the Mediterranean ecoregion. **Anais...** In: X CONFERENCE AEIP-APENA-EFIB-ECOMED - SOIL AND WATER BIOENGINEERING IN THE MEDITERRANEAN ECOREGION. Madrid: 2018b

SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. Aspectos Técnicos das Plantas utilizadas em Engenharia Natural. **Ciência & Ambiente**, v. 46/47, p. 31–71, 2017.

SOUZA, R.; ABIKO, A. **Metodologia para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte**: Boletim Técnico/PCC/190. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1997.

SUTILI, F.; GAVASSONI, E. **Pesquisa e aplicação da Engenharia Natural no Brasil.** Proceedings Cascais World Forum 2012. **Anais...** In: "FÓRUM MUNDIAL DE CASCAIS: ENGENHARIA NATURAL E GESTÃO DO TERRITÓRIO - NOVOS DESAFIOS - II CONGRESS APENA - VII CONGRESS AEIP – VII CONGRESS EFIB. Cascais, Portugal: 2012

TALAMANTES-CONTRERAS, P. **La Ingeniería Naturalística como Técnica para el Control y Estabilización de Ríos y Laderas.** Manejo de Cuencas Hidrográficas. **Anais...** In: CONGRESO NACIONAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Universidad Autónoma de Querétaro, México: 2006Disponível em: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_04/08_pablo_talamantes1.pdf>. Acesso em: 5 set. 2016

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção - Teoria e Prática.** 2ª Edição ed. São Paulo, Brasil: Editora Atlas, 2009.

TURNER, J. R. **The Handbook of Project-based Management: Leading Strategic Change in Organizations.** 3ª ed. London, UK: McGraw-Hill, 2009.

VALLE, A. B. D.; SILVA, B. C. D.; SOARES, C. A. P. **Gerenciamento de projetos espaciais: do Sputnik aos dias atuais.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2017.

VANHOUCKE, M. **Project Management with Dynamic Scheduling: Baseline Scheduling, Risk Analysis and Project Control.** 2ª Edição ed. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.

VARGAS, R. **Análise de valor agregado: revolucionando o gerenciamento de prazos e custos.** 6ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.

VENTI, D. et al. **Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni. Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni.** Itália: Provincia di Terni, Servizio Assetto del Territorio, 2003.

APÊNDICE A – PLANOS DE MÉDIO E CURTO PRAZO PARA A OBRA

Figura 47 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da primeira semana de obra (de 30/07 a 03/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro									Elaborado em: 19/07/18		Data: 19/07/2018	
			Local: UHE Machadinho									Elaborado por:			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A									Alterado em:		Revisão n.º 1	
			Encarregado: Encarregado Empresa A									Alterado por:			
Semana de <u>30/07/2018</u> a <u>03/08/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 100\%$												
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO		
Preparação dos acessos	Área geral	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X						100			
				E	✓	✓									
Remoção de plantas infestantes	Área geral	2 auxiliares		P			X	X				100			
				E			✓	✓							
Execução e fixação da paliçada de madeira	Área paliçada	Chefe de equipe, carpinteiro e 2 auxiliares		P				X	X			100			
				E				✓	✓						
				P											
				E											
* Abertura de vala para aplicação de feixes				P											
				E											
Arquivo:			Aprovação engenheiro:						Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 48 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da segunda semana de obra (de 06/08 a 10/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro								Elaborado em: 03/08/18		Data: 03/08/2018	
			Local: UHE Machadinho								Elaborado por:			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A								Alterado em:		Revisão n.º 1	
			Encarregado: Encarregado Empresa A								Alterado por:			
Semana de <u>06/08/2018</u> a <u>10/08/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 100\%$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO	
Execução e fixação da paliçada de madeira	Área paliçada	Chefe de equipe, carpinteiro e 4 auxiliares		P	X	X	X	X	X			100		
				E	✓	✓	✓	✓	✓					
				P										
				E										
* Abertura de vala para aplicação de feixes				P										
				E										
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 49 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da terceira semana de obra (de 13/08 a 17/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro								Elaborado em: 10/08/18		Data: 10/08/2018	
			Local: UHE Machadinho								Elaborado por:			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A								Alterado em:		Revisão n.º 1	
			Encarregado: Encarregado Empresa A								Alterado por:			
Semana de <u>13/08/2018</u> a <u>17/08/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 100\%$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO	
Execução e fixação da paliçada de madeira	Área paliçada	Chefe de equipe, carpinteiro e 4 auxiliares		P	X	X	X	X				100		
				E	✓	✓	✓							
Enchimento da estrutura com solo	Área paliçada	Chefe de equipe, carpinteiro e 4 auxiliares		P				X	X			100		
				E				✓	✓					
				P										
				E										
* Abertura de vala para aplicação de feixes				P								100		
				E				✓	✓					
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 50 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da quarta semana de obra (de 20/08 a 24/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO	Obra: Rio Ligeiro						Elaborado em: 17/08/18		Data: 17/08/2018			
		Local: UHE Machadinho						Elaborado por:		Revisão n.º 1			
		Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A						Alterado em:					
		Encarregado: Encarregado Empresa A						Alterado por:					
Semana de <u>20/08/2018</u> a <u>24/08/2018</u>		$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 66,7\%$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO
Coleta de material vegetal para os feixes	Rio Uruguai	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X	X	X	X	X			100	
				E	✓	✓	✓	✓	✓				
Abertura da vala para aplicação dos feixes	Área jusante da obra	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X	X	X				100	
				E	✓	✓	✓	✓					
Preparação do solo para aplicação da esteira	Área jusante da obra	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P					X			20	Baixa produtividade
				E					✓				
				P									
				E									
* Confeção dos feixes				P									
				E									
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:					

Fonte: A autora.

Figura 51 - Plano de médio prazo elaborado para o segundo mês de obra (de 27/08 a 21/09).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO MENSAL	Obra: Rio Ligeiro														Elaborado em: 23/08/18		Data: 23/08/2018						
		Local: UHE Machadinho														Elaborado por:		Revisão n.º 1						
		Engenheiro: Engenheiro Empresa A														Alterado em:		Alterado por:						
PACOTES DE TRABALHO	SEMANA 1 (27/08/2018)					SEMANA 2 (03/09/2018)					SEMANA 3 (10/09/2018)					SEMANA 4 (17/09/2018)					RESTRIÇÕES			
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S				
3. Feixes vivos:																								
Confecção dos feixes vivos																					Material vegetal coletado na tarefa precedente, arame Ø 1 mm			
Aplicação dos feixes vivos																					Aço nervurado Ø 10 mm e hidrogel			
4. Esteira viva																								
Preparação do solo																								
Coleta de material vegetal para a esteira																					Barqueiro, barco			
Execução da esteira viva e cobertura com solo																					Material vegetal coletado na tarefa precedente, arame Ø 3 mm, madeira Ø 10 cm			
5. Siltação viva																								
Coleta de material vegetal para a siltação																					Barqueiro, barco			
Execução da siltação (abertura de valas)																								
Arquivo:					Aprovação responsável:					Aprovação diretoria:														

Fonte: A autora.

Figura 52 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da quinta semana de obra (de 27/08 a 31/08).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro					Elaborado em: 24/08/18		Data: 24/08/2018			
			Local: UHE Machadinho					Elaborado por:					
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A					Alterado em:		Revisão n.º 1			
			Encarregado: Encarregado Empresa A					Alterado por:					
Semana de <u>27/08/2018</u> a <u>31/08/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = \mathbf{100\%}$										
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO
Confecção dos feixes	Área de preparação de material vegetativo	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X	X	X	X	X			100	
				E	✓	✓	✓	✓	✓				
Aplicação dos feixes vivos e hidrogel	Área dos feixes	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P				X	X			100	
				E				✓	✓				
Preparação do solo para aplicação da esteira	Área da esteira	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X	X					100	
				E	✓	✓	✓						
				P									
				E									
* Coleta de material vegetal para a esteira				P									
				E									
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:					

Fonte: A autora.

Figura 53 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da sexta semana de obra (de 03/09 a 07/09).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro									Elaborado em: 31/08/18		Data: 31/08/2018	
			Local: UHE Machadinho									Elaborado por:			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A									Alterado em:		Revisão n.º 1	
			Encarregado: Encarregado Empresa A									Alterado por:			
Semana de <u>03/09/2018</u> a <u>07/09/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 50\%$												
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO		
Confecção dos feixes	Área de preparação de material vegetativo	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X	X						50	Condições climáticas adversas (chuva)		
				E	✓										
Aplicação dos feixes vivos e hidrogel	Área dos feixes	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X						50	Condições climáticas adversas (chuva)		
				E	✓										
Coleta de material vegetal para a esteira	Rio Uruguai	Barqueiro e 2 auxiliares		P			X	X	X			100			
				E			✓	✓	✓						
Execução da esteira viva e cobertura com solo	Área da esteira	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P			X	X	X			100			
				E			✓	✓	✓						
				P											
				E											
* Abertura de vala para a siltação				P											
				E											
Arquivo:			Aprovação engenheiro:						Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 54 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da sétima semana de obra (de 10/09 a 14/09).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro								Elaborado em: 07/09/18		Data: 07/09/2018	
			Local: UHE Machadinho								Elaborado por:		Revisão n.º 1	
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A								Alterado em:			
			Encarregado: Encarregado Empresa A								Alterado por:			
Semana de <u>10/09/2018</u> a <u>14/09/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 20\%$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO	
Confeção dos feixes	Área de preparação de material vegetativo	Barqueiro e 2 auxiliares		P			X					0	Nível de água do reservatório elevado	
				E										
Aplicação dos feixes vivos e hidrogel	Área dos feixes	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P			X					0	Nível de água do reservatório elevado	
				E										
Coleta de material vegetal para a esteira	Rio Uruguai	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X	X						50	Condições climáticas adversas (chuva)	
				E	✓									
Execução da esteira viva e cobertura com solo	Área da esteira	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X	X	X	X			20	Nível de água do reservatório elevado	
				E	✓	✓								
* Abertura de covas de plantio para mudas arbustivas e arbóreas				P								100		
				E	✓	✓	✓	✓	✓					
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 55 - Primeira versão do plano de curto prazo elaborado para a oitava semana de obra (de 17/09 a 21/09).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro							Elaborado em: 14/09/18			Data: 14/09/2018	
			Local: UHE Machadinho							Elaborado por:			Revisão n.º 1	
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A							Alterado em:				
			Encarregado: Encarregado Empresa A							Alterado por:				
Semana de <u>17/09/2018</u> a <u>21/09/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 =$											
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO	
Confecção dos feixes	Área de preparação de material vegetativo	Barqueiro e 2 auxiliares		P				X						
				E										
Aplicação dos feixes vivos e hidrogel	Área dos feixes	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P					X					
				E										
Coleta de material vegetal para a esteira	Rio Uruguai	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X									
				E										
Execução da esteira viva e cobertura com solo	Área da esteira	Chefe de equipe e 1 auxiliar		P		X	X	X						
				E										
Coleta de material vegetal para a siltação	Rio Uruguai	Barqueiro e 2 auxiliares		P	X	X	X							
				E										
Abertura de vala para a siltação	Pontos com siltação	1 auxiliar		P	X	X	X	X	X					
				E										
				P										
				E										
* Plantio para mudas arbustivas				P										
				E										
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:						

Fonte: A autora.

Figura 56 - Plano de médio prazo do segundo mês de obra (de 27/08 a 21/09) revisado dia 14/09, após reunião para discussão das novas condições da obra (elevação do nível da água do reservatório).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO MENSAL		Obra: Rio Ligeiro					Elaborado em: 23/08/18		Data: 14/09/2018											
			Local: UHE Machadinho					Elaborado por:		Revisão n.º 2											
			Engenheiro: Engenheiro Empresa A					Alterado em: 14/09/18		Alterado por:											
PACOTES DE TRABALHO	SEMANA 1 (27/08/2018)					SEMANA 2 (03/09/2018)					SEMANA 3 (10/09/2018)					SEMANA 4 (17/09/2018)					RESTRIÇÕES
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	
3. Feixes vivos:																					
Confecção dos feixes vivos																					Material vegetal coletado na tarefa precedente, arame Ø 1 mm
Aplicação dos feixes vivos																					Aço nervurado Ø 10 mm e hidrogel
4. Esteira viva																					
Preparação do solo																					
Coleta de material vegetal para a esteira																					Barqueiro, barco
Execução da esteira viva e cobertura com solo																					Material vegetal coletado na tarefa precedente, arame Ø 3 mm, madeira Ø 10 cm
6. Plantio de mudas																					
Abertura de covas de plantio para mudas arbustivas e arbóreas																					Perfuradores de solo
Plantio de mudas arbustivas																					Mudas arbustivas e adubo
Plantio de mudas arbóreas																					Mudas arbóreas
Abertura de covas de plantio para mudas herbáceas																					
Plantio de mudas herbáceas																					Mudas herbáceas
Arquivo:					Aprovação responsável:					Aprovação diretoria:											

Fonte: A autora.

Figura 57 - Plano de curto prazo resultante do controle de desempenho da oitava semana de obra (de 17/09 a 21/09). O plano apresentado foi revisado após reunião para discussão das novas condições da obra (elevação do nível da água do reservatório) e elaboração de novo plano de médio prazo para o segundo mês da obra.

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO		Obra: Rio Ligeiro					Elaborado em: 14/09/18		Data: 14/09/2018			
			Local: UHE Machadinho					Elaborado por:		Revisão n.º 2			
			Engenheiro(a): Engenheiro Empresa A					Alterado em:					
			Encarregado: Encarregado Empresa A					Alterado por:					
Semana de <u>17/09/2018</u> a <u>21/09/2018</u>			$PPC_{SEM} = \frac{\sum \text{pacotes de trabalho } 100\% \text{ executados}}{\sum \text{pacotes de trabalho totais}} \times 100 = 100\%$										
PACOTE DE TRABALHO	LOCAL	EQUIPE	VISTO	P/E	S	T	Q	Q	S	S	D	%	CAUSA DE NÃO CUMPRIMENTO
Plantio de mudas arbusivas	Área de plantio de mudas	Chefe de equipe e 2 auxiliares		P	X	X	X					100	
				E	✓	✓	✓						
Plantio de mudas arbóreas	Área de plantio de mudas	2 auxiliares		P	X	X						100	
				E	✓	✓							
Abertura de covas para mudas herbáceas	Área de plantio de mudas	3 auxiliares		P			X	X	X			100	
				E			✓	✓	✓				
Plantio de mudas herbáceas	Área de plantio de mudas	3 auxiliares		P			X	X	X			100	
				E			✓	✓	✓				
				P									
				E									
Arquivo:			Aprovação engenheiro:					Aprovação encarregado:					

Fonte: A autora.

Figura 58 - Plano de médio prazo elaborado para o terceiro mês de obra (de 24/09 a 19/10).

LOGOTIPO EMPRESA A	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO MENSAL	Obra: Rio Ligeiro														Elaborado em: 21/09/18		Data: 21/09/2018			
		Local: UHE Machadinho														Elaborado por:		Revisão n.º 1			
		Engenheiro: Engenheiro Empresa A														Alterado em:		Alterado por:			
PACOTES DE TRABALHO	SEMANA 1 (24/09/2018)					SEMANA 2 (01/10/2018)					SEMANA 3 (08/10/2018)					SEMANA 4 (15/10/2018)					RESTRIÇÕES
	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	
3. Feixes vivos:																					
Confecção dos feixes vivos																					
Aplicação dos feixes vivos																					
4. Esteira viva																					
Coleta de material vegetal para a esteira																					Barqueiro, barco
Execução da esteira viva e cobertura com solo																					Material vegetal coletado na tarefa precedente
5. Siltação viva																					
Coleta de material vegetal para a siltação																					Barqueiro, barco
Abertura de vala para execução da siltação																					
Execução da siltação																					
Arquivo:					Aprovação responsável:										Aprovação diretoria:						

Fonte: A autora.

APÊNDICE B – EVOLUÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO APÓS A OBRA

Figura 59 - Aspecto geral da área de intervenção 3 meses após execução das técnicas de Engenharia Natural (vista para jusante).



Fonte: A autora.

Figura 60 - Aspecto geral da área de intervenção 3 meses após execução das técnicas de Engenharia Natural (vista para montante).



Fonte: A autora.