

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
NÍVEL MESTRADO

ALBERTO WAGNER

DIRETRIZES PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE ATRAVESSAMENTO EM
OBRAS RODOVIÁRIAS: ESTUDO DE CASO NA DUPLICAÇÃO DA BR-116

São Leopoldo/RS

2019

ALBERTO WAGNER

**DIRETRIZES PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE ATRAVESSAMENTO EM
OBRAS RODOVIÁRIAS: ESTUDO DE CASO NA DUPLICAÇÃO DA BR-116**

Qualificação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Richter

São Leopoldo/RS

2019

W123d Wagner, Alberto.

Diretrizes para a redução do tempo de atravessamento em obras rodoviárias : estudo de caso na duplicação da BR-116 / por Alberto Wagner. – 2019.

104 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2019.

“Orientador: Dr. Cristiano Richter”.

1. Obras rodoviárias. 2. Sistema Toyota de produção. 3. Teoria das restrições. 4. Construção enxuta. I. Título.

CDU: 658.5:625.7

ALBERTO WAGNER

**DIRETRIZES PARA A REDUÇÃO DO TEMPO DE ATRAVESSAMENTO EM
OBRAS RODOVIÁRIAS: ESTUDO DE CASO NA DUPLICAÇÃO DA BR-116**

Qualificação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior – UNISINOS

Prof a. Dra. Andrea Parisi Kern – UNISINOS

Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto – UNISINOS

AGRADECIMENTOS

A finalização deste trabalho é mais um, de tantos motivos, que tenho para agradecer. Primeiramente à minha esposa, que mais do que suportar minhas ausências, me deu o amor, suporte, tranquilidade e o exemplo para que eu pudesse sempre buscar novos desafios. Também aos meus filhos, por entenderem as minhas longas jornadas.

Aos meus pais por serem os geradores de toda esta caminhada.

À ICCILA e seus colaboradores, que me proporcionaram esta oportunidade.

Aos entrevistados desta pesquisa, que dividiram suas experiências e conhecimento e enriqueceram este trabalho.

Ao meu orientador, obrigado por todas as contribuições e pela paciência e persistência.

Aos doutores que compõem a banca examinadora, por aceitarem este compromisso.

Ao professor Junico Antunes, por acreditar e incentivar este trabalho.

RESUMO

Uma boa infraestrutura rodoviária é de vital importância para o desenvolvimento das nações, porém, a maioria das obras rodoviárias tomam longos prazos para conclusão. Em paralelo, algumas teorias de produção, como o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições possibilitaram a redução do tempo de atravessamento de produtos industrializados. Diante disto, esta pesquisa propõe diretrizes para o planejamento e programação de obras rodoviárias, visando reduzir o tempo de atravessamento de produção, através de um estudo de casos múltiplos das obras de duplicação da BR-116 no Rio Grande do Sul, utilizando dados documentais e entrevistas com os responsáveis pelas obras. O estudo identificou que os prazos para o licenciamento ambiental e as deficiências em projetos são os principais motivos extrínsecos para o atraso das obras da BR-116. Pôde-se concluir que os planos são deficientes, não há uma identificação clara do caminho crítico da obra e o paradigma utilizado maximiza a produtividade dos recursos, de forma isolada. Também foi constatado que não havia uma definição sobre o tamanho dos lotes de trabalho e os indicadores não estimulam a conclusão de segmentos. As diretrizes visando reduzir o tempo de atravessamento das obras rodoviárias compreendem mobilizar a obra somente quando as restrições legais estiverem encaminhadas, permitir a utilização de recursos a taxas inferiores do que a sua capacidade, utilizar Gráficos Espaço x Tempo para a elaboração dos cronogramas de longo prazo, iniciar a terraplenagem pelo local menos denso em serviços iniciais e de terraplenagem, utilizar a menor extensão possível para os lotes de trabalho de cada atividade, utilizar indicadores que promovam a conclusão de segmentos e utilizar a metodologia *Last Planner System* para efetivar as programações e controle da obra.

Palavras-chave: Obras Rodoviárias, Sistema Toyota de Produção, Teoria das Restrições, Construção Enxuta.

ABSTRACT

Good road infrastructure is vitally important for the development of nations, but most road works take long lead times to complete. In parallel, some production theories, such as the Toyota Production System and the Theory of Constraints enabled the reduction of lead time of industrialized products. Given this, this research proposes guidelines for the planning and programming of road works, aiming to reduce the lead time, through a multiple case study of the BR-116 duplication works in Rio Grande do Sul, using documentary data and interviews with those responsible for the works. The study identified that the deadlines for environmental licensing and the deficiencies in projects are the main extrinsic reasons for the delay of the BR-116 works. It could be concluded that the plans are deficient, there is no clear identification of the critical path of the work and the paradigm used maximizes the productivity of resources in isolation. It was also found that there was no definition of the size of the work lots and the indicators do not promote the completion of segments. The guidelines to reduce the time of road works include mobilizing the work only when legal restrictions are in place, allowing the use of resources at rates lower than their capacity, using Space x Time Charts for the elaboration of long-term schedules, initiate earthmoving from the least dense site for initial and earthmoving services, use the smallest extent possible for the work lots of each activity, use indicators that promote segment completion, and use the Last Planner System methodology for effective scheduling and control the work.

Key-words: Roadway Construction, Toyota Production System, Theory of Constraints, Lean Construction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Linha de Balanço.....	18
Figura 2 – <i>Linear Scheduling Model</i> e <i>Controlling Activity Path</i>	20
Figura 3 – Redução no prazo de projetos utilizando atividades de controle regressivo	21
Figura 4 – Mecanismo da Função Produção.....	23
Figura 5 – Como circulam os Kanbans	24
Figura 6 – Gerenciamento dos pulmões na programação de manufatura	26
Figura 7 – Gerenciamento do pulmão de projeto	29
Figura 8 – Integração do Tambor – Pulmão – Corda com a Corrente Crítica	30
Figura 9 – Processo de conversão.....	31
Figura 10 – Fluxo de processo da Construção Enxuta.....	31
Figura 11 – Perfil de uma rodovia	34
Figura 12 – Adaptação da CCPM aos projetos lineares.....	36
Figura 13 – Fluxo de produção de uma obra de construção rodoviária	37
Figura 14 – Definição de lotes e esperas em obras rodoviárias.....	39
Figura 15 – Elementos relevantes no tempo de atravessamento.....	41
Figura 16 – Divisão dos Lotes da obra de duplicação da BR-116.....	46
Figura 17 – Análise cruzada Caso x Eixo de Estudo.....	50
Figura 18 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 1	53
Figura 19 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 2.....	54
Figura 20 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 3.....	56
Figura 21 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 4.....	58
Figura 22 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 5.....	59
Figura 23 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 6.....	62
Figura 24 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 7.....	63
Figura 25 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 8.....	64
Figura 26 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 9.....	66
Figura 27 – Gráfico de evolução dos serviços de todos os Lotes	75
Figura 28 – Paradigma de execução de projeto.....	76
Figura 29 – Representações da programação visando melhor aproveitamento dos recursos.....	77
Figura 30 – Obra rodoviária executada por camadas	79

Figura 31 – Adequação da produtividade dos recursos com folga de capacidade....	81
Figura 32 – Paradigma de execução visando a entrega	82
Figura 33 – Lote e sequência visando a entrega.....	83
Figura 34 – Caminho Crítico nos projetos lineares.....	87
Figura 35 – Caminho Crítico com recursos sub-utilizados	88
Figura 36 – Modelo de programação visando a redução do tempo de atravessamento	89
Figura 37 – Fluxo dos processamentos para lote único de 400 metros	92
Figura 38 – Fluxo dos processamentos para lotes de 100 metros	92
Figura 39 – Gerenciamento dos pulmões de atividades	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo Conceitos/Teorias x Eixos.....	42
Tabela 2 – Informações dos contrato das obras de duplicação da BR-116	46
Tabela 3 – Documentos pesquisados	48
Tabela 4 – Dados das entrevistas realizadas.....	49
Tabela 5 – Questionário utilizadas nas entrevistas	49
Tabela 6 – Prazos para a emissão da primeira Licença Ambiental de jazida	68
Tabela 7 – Principais restrições apontadas pelos entrevistados.....	69
Tabela 8 – Dados do andamento das obras de duplicação da BR-116	70
Tabela 9 – Resumo das evidências lote x eixo de análise	72
Tabela 10 – Relação da conclusão da terraplenagem com o início da sub-base.....	75
Tabela 11 – Extensão dos lotes de trabalho comentados pelos entrevistados	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização	11
1.2 Questão de Pesquisa	13
1.3 Objetivo	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Delimitação do Tema	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Atrasos em Obras Rodoviárias	15
2.2 Planejamento de Projetos Rodoviários	17
2.3 Sistema Toyota de Produção (STP) Aplicado à Programação da Produção	22
2.4 Teoria das Restrições (TOC)	25
2.4.1 TOC na Administração da Produção em Manufatura.....	25
2.4.2 TOC no Gerenciamento de Projetos	27
2.5 <i>Lean Construction</i> Aplicado à Programação da Produção	30
2.6 As Metodologias de Programação da Produção e as Obras Rodoviárias ...	34
3 MÉTODO DE PESQUISA	44
3.1 Estratégia de pesquisa	44
3.2 Descrição do Caso	44
3.3 Eixos de Análise	47
3.4 Procedimentos Metodológicos	47
3.4.1 Coleta de Evidências.....	48
3.4.2 Análise das evidências	50
3.4.3 Discussão dos Resultados.....	51
3.4.4 Elaboração das Diretrizes.....	51
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS	52
4.1 Análise dos Lotes	52
4.1.1 Lotes 1 e 2 – Constran Construções e Comércio	52
4.1.2 Lote 3 – Ivaí Engenharia de Obras	56
4.1.3 Lote 4 – Consórcio Trier - Ctesa	58
4.1.4 Lote 5 – Consórcio Brasília Guaíba - Ribas	59
4.1.5 Lote 6 – Consórcio Pelotense – CC	61

4.1.6 Lote 7 – Sultepa Construções e Comércio.....	63
4.1.7 Lote 8 – SBS Engenharia e Construções	64
4.1.8 Lote 9 – Consórcio MAC - Tardelli	66
4.2 Análise dos Eixos de Estudo	68
4.2.1 Restrições/Motivadores Externos.....	68
4.2.2 Planejamento de Longo Prazo	69
4.2.3 Programação de Curto Prazo	71
4.2.4 Preparação e Controle de Qualidade.....	72
4.3 Discussão dos Resultados.....	74
4.4 A Modificação do Conceito da Programação das Obras Rodoviárias.....	80
4.5 A Construção de Diretrizes para a Redução do Tempo de Atravessamento de Obras Rodoviárias	84
4.5.1 Restrições/Fatores Externos	84
4.5.1.1 Licenciamentos ambientais e deficiências de projeto.....	84
4.5.1.2 Desapropriações	85
4.5.2 Planejamento de Longo Prazo	85
4.5.2.1 Política de estoques e de utilização dos recursos.....	86
4.5.2.2 Método de planejamento com localização das atividades.....	86
4.5.2.3 Identificação do caminho crítico do projeto	86
4.5.2.4 Alocar os <i>buffers</i> dentro do planejamento	88
4.5.3 Programação de Curto Prazo.....	90
4.5.3.1 Definição do tamanho do lote de trabalho	90
4.5.3.2 Transição entre o longo e curto prazo – o <i>Pull Planning</i>	93
4.5.3.3 Manutenção e controle do processo.....	94
4.5.3.4 Indicadores e medição de pagamento	95
4.5.4 Preparação e Controle de Qualidade	95
4.6 Diretrizes para Programação de Obras Rodoviárias Objetivando a Redução do Tempo de Atravessamento	96
5 CONCLUSÃO	98
5.1 Conclusão da Pesquisa	98
5.2 Limitações dos Resultados Observados	99
5.3 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	99
REFERÊNCIAS.....	100
APÊNDICE A – TABELA RESUMO DAS ENTREVISTAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As obras rodoviárias representam uma fatia importante dos investimentos atuais em Infraestrutura no Brasil. Segundo Neto (2016), o Brasil aplicou uma média anual de R\$ 12,7 bilhões em obras rodoviárias. Ainda assim, estudos apontam a necessidade de pesados investimentos para melhorar a Infraestrutura de transportes nos próximos anos. Segundo Alencar (2014), seria necessário investir um trilhão de reais para que a Infraestrutura nacional de transporte atingisse nível semelhante ao de países equivalentes ao Brasil em porte e potência. Hoje, somente 14% das rodovias brasileiras estão pavimentadas, índice três vezes menor que a Austrália. De acordo com Neto (2016), o Brasil investe menos de 0,6% do PIB em transportes. Já os países emergentes investem em média 3,4% do seus PIBs. Seria necessário quadruplicar os investimentos nesta área para prover o Brasil com uma infraestrutura adequada.

Os poucos projetos rodoviários que recebem recursos no Brasil acabam sofrendo com atrasos para a sua conclusão. Reportagem do jornal Valor Econômico, veiculada em Agosto de 2013 noticiava que as nove principais obras rodoviárias do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) apresentavam atrasos de dois a nove anos.

Tal fenômeno não é uma exclusividade brasileira. Diversos estudos buscam apurar os principais motivos destes atrasos em vários pontos do mundo. Pode-se constatar que muitas causas apuradas envolvem aspectos extrínsecos à execução da obra, como a situação política, condições climáticas, atrasos nos pagamentos pelo patrocinador do projeto, indisponibilidade de materiais e burocracia dos agentes envolvidos (MAHAMID et al., 2012; KAMANGA & STEYN, 2013; AZIZ & ABDEL-HAKAM, 2016).

Os mesmos estudos também apontam motivos intrínsecos à execução dos serviços, tais como: falta de equipamentos, falha no gerenciamento e supervisão da obra, inexperiência do executor, baixa performance dos sub-contratados, falta de produtividade e falta de planejamento e programação do trabalho (MAHAMID et al., 2012; KAMANGA & STEYN, 2013; AZIZ & ABDEL-HAKAM, 2016). As soluções

propostas destacam o melhor aproveitamento dos recursos envolvidos, como a implantação de programas de treinamento gerencial e em programação e controle de tempo de custo, incentivo ao aumento de produtividade, melhorias na comunicação e utilização de sistemas de informação.

No Brasil, Moreira (2018) analisou o andamento das obras do PAC no âmbito do Ministério do Turismo. Suas conclusões foram que problemas relacionados à engenharia e gestão da obra, como deficiências de planejamento e controle dos recursos e baixa produtividade figuram entre as mais frequentes e relevantes causas de atrasos.

A morosidade na conclusão destes projetos provoca uma série de transtornos e prejuízos para as comunidades e usuários envolvidos, podendo levar à falência as mais diversas atividades comerciais desenvolvidas nos arredores. Portanto, a redução dos prazos de obras rodoviárias se constitui em um grande avanço, levando-se em conta a grande importância desta infraestrutura para todos os demais setores econômicos.

Na literatura, os principais modelos para o planejamento de obras rodoviárias estão apoiados nos conceitos de projetos com atividades repetitivas ou lineares, como a Linha de Balanço (*Line of Balance – LOB*), *Repetitive Scheduling Method* (RSM), *Linear Scheduling Model* (LSM), e não detalham fórmulas ou métodos com o objetivo de reduzir o prazo de entrega (ARDITI et al. 1986; MATTILA & ABRAHAM, 1998; HARMELINK, 1995, 1998, 2001, 2001a; HARRIS & IOANNOU, 1998)

Já no ambiente industrial, a redução do prazo de entrega de produtos manufaturados foi um dos maiores desafios das últimas décadas. Conhecido como *lead-time* ou tempo de atravessamento, este prazo é constituído pelo *lead-time* de compra, que é o prazo para a realização do pedido, *lead-time de produção*, que é o prazo para produzir o produto, e o *lead time* de entrega. Na segunda metade do século XX, a aplicação de algumas teorias possibilitaram a redução dos prazos de fabricação de produtos manufaturados e modificaram o paradigma de produção da indústria moderna (ANTUNES, 1998). O Sistema Toyota de Produção (STP) gerou uma significativa redução no tempo de atravessamento de produção dos automóveis, fazendo com que a Toyota se tornasse uma das maiores empresas automobilísticas do mundo (ANTUNES, 1998). A Teoria das Restrições (TOC) também foi utilizada na redução do tempo de atravessamento tanto na indústria manufatureira como em projetos (COX III & SCHLEIER JR, 2013). Koskela (1992) adaptou os princípios do

STP para a construção civil, movimento conhecido como Lean Construction ou Construção Enxuta, gerando melhorias nas obras civis. Os ganhos de prazos gerados por estas teorias não estão relacionados ao aumento de quantidade ou de capacidade dos recursos utilizados nas atividades, mas à alteração na lógica de programação dos sistemas de produção.

Não foi identificado na literatura pesquisada a aplicação destas teorias na execução de obras rodoviárias, e em particular nos métodos de planejamento e programação da produção destes projetos. Existe, então, a possibilidade de redução de tempo de atravessamento de produção nas obras rodoviárias com a utilização destas teorias, assim como ocorreu na indústria automobilística. Este estudo é relevante à medida que contribui com o avanço de pesquisas nesta área do conhecimento, além de contribuir com melhores práticas que podem gerar ganhos quando aplicadas em projetos de obras rodoviárias.

1.2 Questão de Pesquisa

Assim, a questão de pesquisa deste trabalho pode ser assim descrita: Como melhorar o planejamento e programação das obras rodoviárias com foco na redução do tempo de atravessamento de produção?

1.3 Objetivo

A seguir são tratados os objetivos geral e os objetivos específicos desta pesquisa.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em propor diretrizes para o planejamento e programação de obras rodoviárias visando reduzir o tempo de atravessamento de produção.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Identificar, dentro da lógica de planejamento e programação utilizados nas obras rodoviárias, os motivos para o aumento do tempo de atravessamento (*lead time*);
- b) Propor, baseado no referencial teórico e no estudo de caso, diretrizes a serem utilizadas na programação de obras rodoviárias visando reduzir o tempo de atravessamento (*lead time*).

1.4 Delimitação do Tema

São as seguintes as principais delimitações do trabalho:

- O tempo de atravessamento total é composto pelo tempo de atravessamento de pedido, que engloba os procedimentos para a contratação da obra, o tempo de atravessamento de execução, que inicia quando é dada a ordem de início de obra ao executor, e o tempo de atravessamento de entrega, caso envolvesse o transporte do produto até o cliente, que não é o caso nas obras rodoviárias. Esta pesquisa se concentrou somente no tempo de atravessamento de produção;
- Esta pesquisa está focada na possibilidade de redução do tempo de atravessamento das obras rodoviárias, não em eventuais prazos previstos contratualmente;
- Esta pesquisa não avalia as produtividades das diversas operações envolvidas, mas nas lógicas de planejamento e programação das atividades e recursos;
- Esta pesquisa não analisa a viabilidade econômica da redução dos prazos dentro do modelo proposto;
- Esta pesquisa não analisa o ponto de vista de contratantes ou usuários, mas somente o ponto de vista das empresas executoras, uma vez que as entrevistas foram realizadas com os coordenadores das obras destas empresas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo estão apresentadas as principais referências teóricas que irão embasar as análises da dissertação. Primeiramente são tratados os estudos sobre os motivos de atrasos e sugestões de melhorias em obras rodoviárias e de construção no Brasil e no mundo. Esta pesquisa não está focada na análise aprofundada de interferências externas à execução da obra, mas na identificação das principais ocorrências nos casos objetos desta pesquisa e sua interferência com as atividades de planejamento e programação da obra.

Na sequência são abordados os principais modelos citados na literatura para o planejamento de obras rodoviárias, e as principais teorias que sustentam metodologias de planejamento e programação da produção na indústria, em particular o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições. Por fim, são detalhados os conceitos da *Lean Construction*, movimento que adaptou a produção enxuta na construção civil.

2.1 Atrasos em Obras Rodoviárias

Diversos estudos, em todo o mundo, buscam identificar as principais causas dos atrasos nas obras rodoviárias. Estes estudos revelam duas categorias de interferências no andamento destes projetos: internas e externas às atividades de execução das obras. Mahamid et al (2012) identificou que os principais motivos externos para os atrasos em obras rodoviárias na Palestina são a situação política, problemas internos do banco, contratação do projeto pelo menor preço e atrasos nos pagamentos pelo patrocinador do projeto. Na África, Kamanga & Steyn (2013) concluem que a falta de combustíveis, dificuldades de pagamento do contratante do projeto e atrasos nas realocações de redes e estruturas são as principais causas externas dos atrasos em projetos de construção rodoviária. Aziz & Abdel-Hakam (2016) analisam estudos sobre atrasos em construções em 24 países, identificando as causas externas mais citadas: condições climáticas e demora na tomada de decisões pelo dono do projeto. As principais causas ligadas a questões internas à execução dos trabalhos levantadas por Aziz & Abdel-Hakam (2016), são: insuficiência de equipamentos, falta de experiência do executor, falha no gerenciamento e supervisão da obra, quebra de equipamentos, erros na investigação do solo, baixa

performance dos sub-contratados, fraco gerenciamento e supervisão, falta de habilidade dos operadores, condição do subsolo inesperada, retrabalhos, baixa produtividade, falta de planejamento e programação do trabalho, materiais inadequados ou de baixa qualidade e equipamentos impróprios. Para Kamanga & Steyn (2013) os principais motivos de atrasos relacionados com fatores internos são: falta de equipamentos, falta de pessoal técnico, atraso na mobilização, obsolescência tecnológica dos equipamentos, falta de treinamento do pessoal em gerenciamento e baixa produtividade dos trabalhadores. Entre as causas internas elencadas por Mahamid et al (2012), destacam-se: falta de equipamentos, baixa produtividade dos trabalhadores e equipamentos, problemas de comunicação entre os envolvidos na execução, falta de habilidade dos operadores, cronograma ineficiente e retrabalhos.

No Brasil, em particular, o TCU (2015) apontou que 27% dos atrasos ou abandonos de obras públicas brasileiras têm motivações no projeto, 19% possuem pendências administrativas, 9% sofrem com questões ambientais, 5% com desapropriações e 9% atrasam por pendências judiciais, atuações do TCU ou descontinuidade ou falta de recursos. Porém, a maior parcela, 31%, não possuem justificativas externas à obra. Da mesma forma, em fevereiro de 2009, em reportagem publicada pelo jornal O Globo, o então diretor geral do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) culpava as empresas pelo atraso nas obras do órgão. Moreira (2018) realizou um diagnóstico das causas de atraso das obras do PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) e identificou que 53% das obras iniciaram com atrasos entre um ano e meio a dois anos devido à deficiências de projetos ou licenças ambientais. As causas mais frequentes apontadas foram problemas com projetos e atrasos na elaboração e emissão de documentos obrigatórios.

Apesar destes estudos buscarem identificar as causas dos atrasos, poucos estudos se aprofundam sobre as soluções para estes problemas, fornecendo apenas sugestões, como manter programas de treinamento gerencial para trabalhadores, incentivar o aumento de produtividade, renovação dos equipamentos e melhorar a comunicação (MAHAMID, 2012). Kamanga & Steyn (2013) sugerem treinar os trabalhadores em programação e controle de tempo e custo, gerenciamento de pessoal e sistemas de informação, inclusive na ferramenta Corrente Crítica.

Esta dissertação não irá se aprofundar na análise das causas de atrasos que são externas à execução das obras rodoviárias, mas identificar as causas mais citadas

nos casos em estudo e sua influência no planejamento e programação das obras rodoviárias.

2.2 Planejamento de Projetos Rodoviários

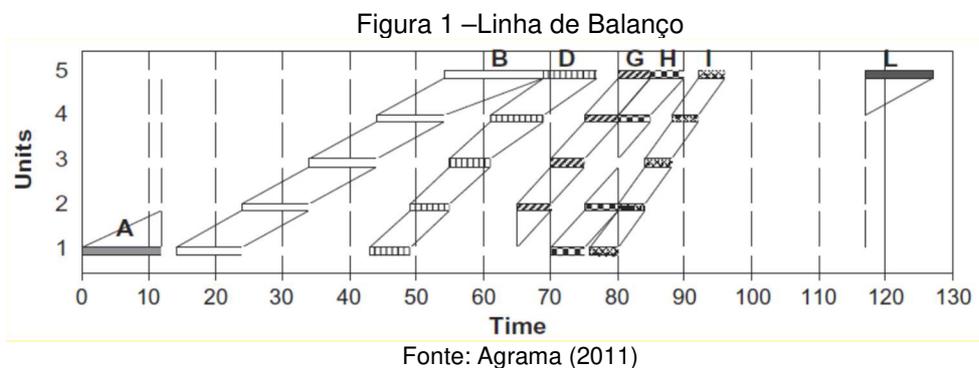
A definição mais utilizada para classificar os processos em manufatura está baseada na relação entre o volume e variedade. De um lado tem-se os processos contínuos e de produção em massa, com grandes volumes de produtos com baixa variabilidade. Do outro tem-se os projetos, com itens dotados de características únicas e baixa quantidade. Estes projetos, de forma geral, utilizam redes de atividades para elaborar os planos de execução, destacando-se as técnicas *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e *Critical Path Method* ou Método do Caminho Crítico (CPM) (LEU & YANG, 1999; LEU et al., 2000; GALLOWAY, 2006; ROGALSKA & HEJDUCKI, 2007; LU et al., 2008; HARIGA & EL-SAYEGH, 2010 apud DAMCI & POLAT, 2014).

Os empreendimentos de construção, cujas atividades se repetem muitas vezes, de forma similar, em diferentes locais do objeto, como a instalação do piso em cada andar do edifício ou o pavimento em cada metro da rodovia, são denominados projetos repetitivos. Nestes projetos, a informação da localização onde a atividade deve ser executada é de suma importância pois todas as atividades antecessoras a ela precisam estar finalizadas no mesmo local, e as técnicas de PERT e CPM, juntamente com a ferramenta visual do Gráfico de Gantt, não possuem esta capacidade. Seria necessário multiplicar as atividades pelos segmentos de controle do projeto (andar, metro linear, unidade habitacional), o que torna inviável o seu uso.

Vários pesquisadores relataram estes problemas com o uso dos métodos PERT e CPM para a programação de projetos repetitivos (DAMCI et al., 2016). Segundo Rahbar & Rowing (1992), a principal desvantagem do uso do CPM em projetos repetitivos é a incapacidade de lidar com mudanças na sequência de execução das atividades, muitas vezes motivadas por causas imprevisíveis, gerando horas de trabalho para atualizar o cronograma. Clough & Sears (1991) concluem que a complexidade de aplicação da CPM em atividades repetitivas é o motivo pelo baixo uso desta ferramenta neste tipo de projetos. Segundo Selinger (1980), a CPM não consegue garantir o máximo grau de utilização dos recursos.

Neste contexto, foram desenvolvidas diversas técnicas para a programação e acompanhamento de projetos com atividades repetitivas, com diferentes denominações, como *Line of Balance* ou Linha de Balanço (LoB), *Vertical Production Method* (VPM), *Time-Space Scheduling*, *Cascade Networks*, *Velocity Diagrams*, *Repetitive Scheduling Method* (RSM), *Linear Scheduling Model* (LSM), *Repetitive Project Modeling* (RPM) (ARDITI et al. 1986; MATTILA & ABRAHAM, 1998; AGRAMA, 2011), todos muito similares e com um forte componente visual.

De todas estas técnicas, a Linha de Balanço (LoB) é o método mais utilizado. Sua origem remete ao Departamento da Marinha Americana no ano de 1942 (Suhail & Neale, 1994). A Linha de Balanço consiste em um gráfico cujo eixo vertical representa as unidades acumuladas do produto a serem executadas e no eixo horizontal o tempo (período de execução). Cada atividade é representada por uma linha horizontal posicionada na altura da unidade a ser executada, iniciando na projeção da data de início e terminando na projeção da data estimada para seu final (Figura 1).



Alguns estudos discutiram sobre as vantagens do uso da LoB em projetos com atividades repetitivas, como a capacidade de visualização geral da programação das atividades, apontando de maneira intuitiva a localização e o período de execução (Suhail & Neale, 1994), e o grau de produtividade de cada atividade, revelando graficamente os atrasos ou desbalanceamentos na produção. Al Sarraj (1990) validou as equações do método, no intuito de aumentar a sua utilização.

Mais indicadas para projetos com repetição de atividades discretas, como conjuntos habitacionais, a LoB também foi testada em projetos lineares, que se desenvolvem de forma contínua sobre o seu layout, como obras rodoviárias ou

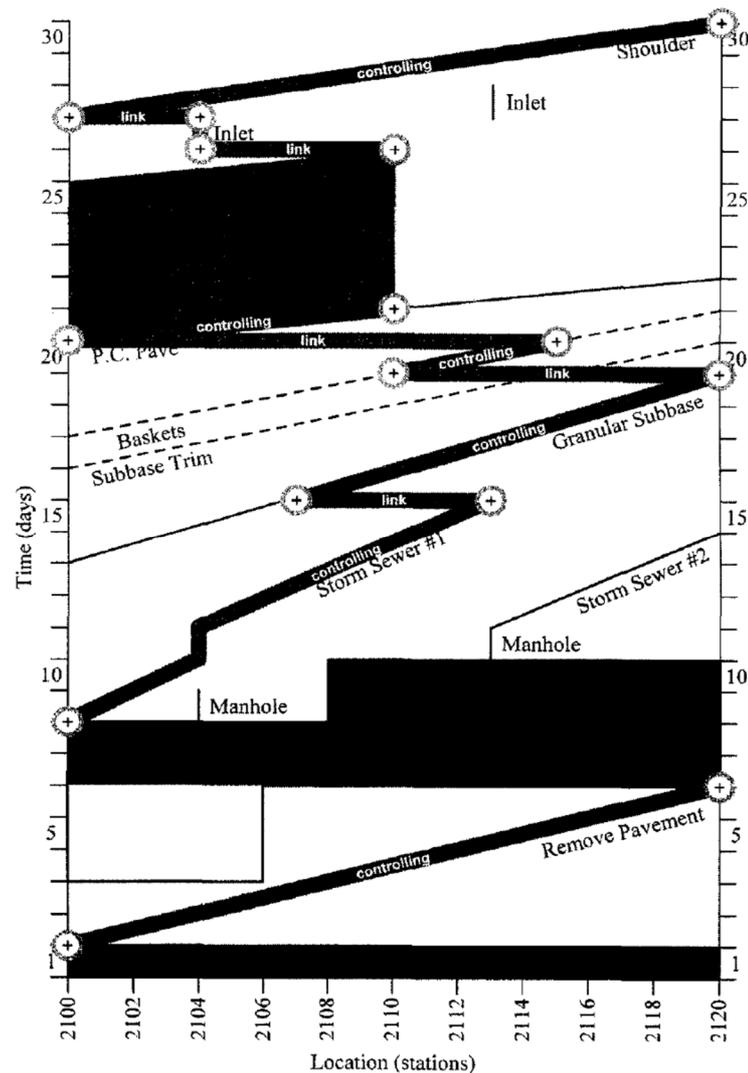
tubulações. Em 1986, Arditi & Albulak analisam a utilização da LoB em uma obra rodoviária, e fazem as seguintes observações:

- Imprecisões nas taxas de produtividade das atividades geram grandes desvios nas projeções, devido ao efeito da repetição;
- Naquele estudo foram necessárias 58 atividades para a execução de 1 km do projeto, o que demandaria 5.800 atividades para o planejamento de 100 km daquele tipo de obra em diagramas de rede, tornando impraticável o seu uso neste tipo de projetos;
- O grau de detalhamento da Linha de Balanço precisa ser cuidadosamente avaliado para não tornar o gráfico ilegível nem pobre demais, principalmente com atividades com produtividades similares;
- As linhas das atividades estão intimamente ligadas ao uso dos recursos nos projetos;
- Melhora a análise do uso das folgas entre as atividades;
- Ao contrário do Diagrama de rede, é fácil de mostrar o progresso do projeto no gráfico da Linha de Balanço.

A principal desvantagem da LoB apontada pela literatura diz respeito à dificuldade de interpretação em projetos com muitas atividades, tornando os gráficos muito complexos (ARDITI & ALBULAK 1986).

Johnston (1981) foi pioneiro no desenvolvimento de métodos para o planejamento de obras rodoviárias utilizando técnicas de programação linear. Harmelink (1995, 1998, 2001, 2001a) desenvolveu o *Linear Scheduling Model* (LSM), um modelo mais apropriado à obras lineares, com exemplos de aplicações em obras rodoviárias. Este modelo, diferentemente da LoB, representa a localização da atividade no eixo horizontal, enquanto que a linha de tempo está representada no eixo vertical. Harmelink (1998) detalha como os tipos de atividades envolvidas em um projeto repetitivo, discretas e lineares, são representadas e como é determinado o Caminho de Atividades Controladas (*Controlling Activity Path*), que é correspondente ao caminho crítico do *Critical Path Method* (Figura 2).

Figura 2 – Linear Scheduling Model e Controlling Activity Path



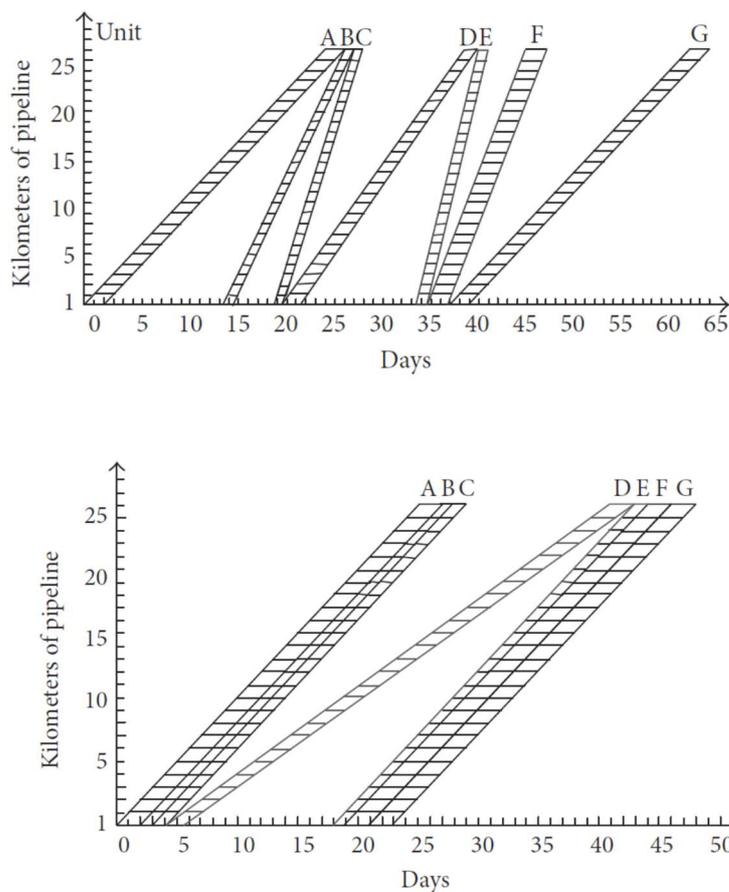
Fonte: Harmelink & Rowings (1998)

Harris & Ioannou (1998) desenvolveram o *Repetitive Scheduling Method* (RSM), método de programação linear que prioriza a melhor utilização dos recursos para a execução do projeto. El-Rayes & Moselhi (1998) elaboram um algoritmo que busca reduzir o tempo ocioso das equipes, utilizando como exemplo uma obra rodoviária (*Resource-Driven Scheduling*). A maioria destes métodos gráficos buscam um melhor aproveitamento dos recursos na elaboração do cronograma, lógica idêntica às programações PERT/CPM, resultando em uma mera mudança de apresentação da mesma lógica.

Os estudos mais recentes em programação de obras lineares buscam equações que determinem o menor custo total do projeto, avaliando diversas

variáveis. Zang et al (2017) compara alternativas no planejamento de uma obra de construção de uma linha de tubulações com 26 km de extensão, utilizando uma estratégia na qual o prazo das atividades de controle regressivo (atividades que possuem produtividade maior, entre duas atividades menos produtivas) são aumentados para reduzir o tempo total do projeto (Figura 3).

Figura 3 – Redução no prazo de projetos utilizando atividades de controle regressivo



Fonte: Zhang et al. (2017)

No primeiro gráfico, as atividades estão programadas para trabalharem de forma contínua e utilizando toda a sua capacidade. No segundo, ao aumentar o prazo de execução das atividades B e C, foi possível antecipar o início da atividade D, que é a mais longa de todas, reduzindo o prazo total do projeto. A redução da produtividade das atividades B e C no segundo modelo somente foi possível com a retirada de recursos das equipes responsáveis por elas, o que mostra que o objetivo é alcançar a maior produtividade em cada atividade isoladamente. Caso a equipe

fosse composta por um só recurso, não seria possível reduzir sua produtividade e, conseqüentemente, o prazo total do projeto.

Este conceito vai ao encontro do paradigma de melhoria das operações vigente na indústria na primeira parte do século XX, onde o sistema produtivo era entendido como um conjunto de operações. Desta forma, as melhorias isoladas em cada operação conduziria à melhoria em todo o sistema. As mudanças nos mercados ocorridas após as crises do petróleo nos anos 70, demandaram alterações nas lógicas de programação da produção da indústria que permitiram a evolução do modelo baseado nas melhorias das operações para o Sistema Toyota de Produção, com foco na melhoria dos processos (ANTUNES, 1998).

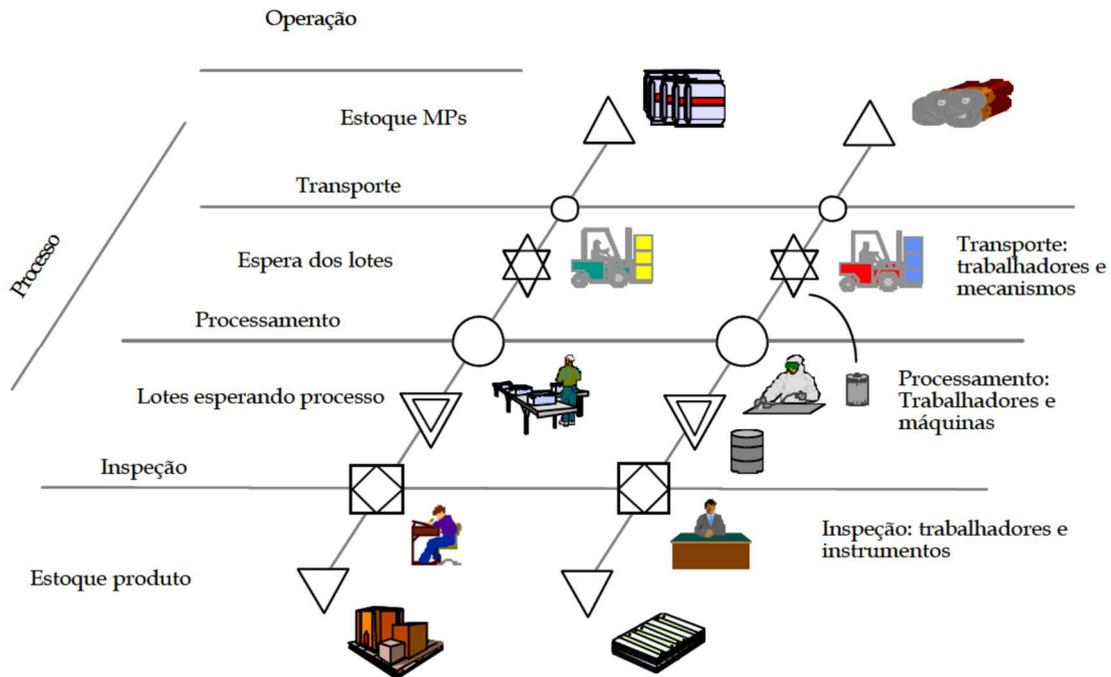
2.3 Sistema Toyota de Produção (STP) Aplicado à Programação da Produção

O Sistema Toyota de Produção foi desenvolvido nas instalações da empresa automotiva Toyota Motor Company, no Japão, na segunda metade do século 20. Originária de uma fábrica de teares industriais, a Toyota e o Japão passavam por um momento delicado após a Segunda Guerra Mundial, sofrendo com a escassez de recursos, o que a obrigou a desenvolver metodologias para adequar a produção à real demanda de mercado. Este sistema visa obter os seguintes atributos, no que se refere à programação da produção (Ohno, 1997):

- Redução da variabilidade dos processos, mantendo-se um ritmo constante de entrega, chamado de *takt-time*.
- Redução dos lotes de transferência e dos tempos de *setup* para flexibilizar a produção;
- Redução dos estoques em processo e, conseqüentemente, redução do tempo de atravessamento.

Buscando melhorar o entendimento do STP, Shingo (1996) desenvolveu uma teoria, denominada por ele de Mecanismos da Função Produção (Figura 4), segundo a qual todo processo produtivo pode ser compreendido como uma rede de processos (Função Processo) e operações (Função Operação).

Figura 4 – Mecanismo da Função Produção



Fonte: Shingo (1996)

A Função Operação está relacionada ao acompanhamento da máquina e dos homens ao longo das transformações. Shingo (1996) considera que as melhorias na Função Processo, que é a melhoria no fluxo dos materiais no tempo e espaço à medida que são transformados, exercem influência maior no tempo de atravessamento.

Para fazer esta análise ele identificou 5 elementos que compõem a Função Processo:

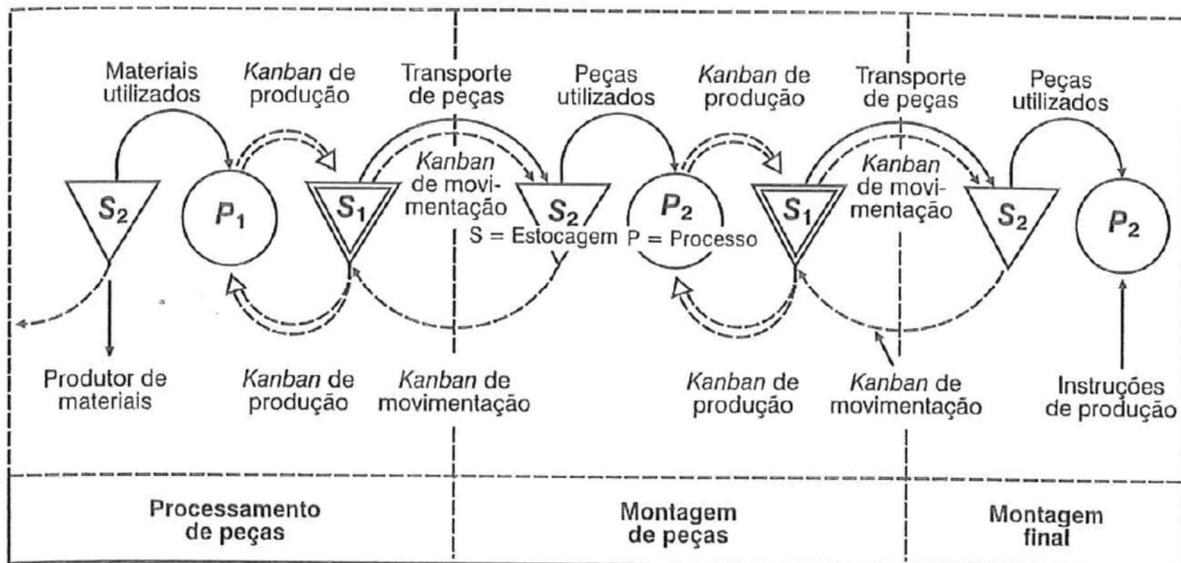
- Processamento – Operação que gera mudança física no material ou na sua qualidade
- Inspeção – Comparação com o padrão
- Transporte – Movimentos de materiais ou produtos
- Espera do processo – Espera de um lote inteiro pelo processamento do lote anterior
- Espera do lote – Espera de uma peça pelo processamento do seu lote de trabalho

Segundo Shingo (1996), as esperas são responsáveis por até 80% do tempo de atravessamento dos produtos manufaturados. Estas esperas são diretamente proporcionais aos tamanhos do estoque em processo e dos lotes de produção. Desta

forma, a redução do tamanho dos lotes é fundamental para encurtar o tempo de atravessamento, implicando em uma quantidade muito maior de ciclos de produção, gerando maior número de inspeções e *set-ups*. Shingo (1996) orienta que a redução do tamanho dos lotes deve ser acompanhada da redução do horizonte de planejamento da produção, sugerindo a elaboração dos planos de produção com 15 dias de antecedência.

No STP, a programação da produção no curto prazo é realizada automaticamente pelo Kanban, um método descentralizado que foi inspirado nos supermercados, e consiste em um pequeno estoque de materiais entre cada estação de trabalho. O método programa a produção somente dos itens consumidos, em um lote muito pequeno, chamado de “Kanban”, evitando a superprodução e assegurando a continuidade dos processos. Outra característica é que a informação da produção, utilizando cartões, tem sentido oposto ao fluxo físico, garantindo que seja um sistema puxado pela demanda (Figura 5).

Figura 5 – Como circulam os Kanbans



Fonte: Shingo (1996)

Ao processar uma quantidade pequena de peças em cada ciclo e já partir para outro modelo de peça, eliminando os estoques em processos, a quantidade de preparações dos recursos (*set-up's*) é multiplicada. Para viabilizar uma produtividade adequada do sistema, a Toyota foi obrigada a reduzir substancialmente os tempos de preparação a cada ciclo, utilizando um método chamado de Troca Rápida de Ferramenta (TRF). Segundo Shingo (1996), esta metodologia, baseada na divisão do

set-up em 2 momentos, chamados de interno e externo, permite reduzir o tempo de preparação em 80 a 95%.

Goldratt (2008) sustenta que o STP, em particular o sistema Kanban, possui o pressuposto de funcionar em ambientes relativamente estáveis, em termos da demanda e em mudanças de linha, como de fato é o setor automotivo. Para ambientes que sofrem maiores irregularidades ele sugere a utilização do método Tambor-Pulmão-Corda, baseado na Teoria das Restrições (*Theory of Constraints – TOC*).

2.4 Teoria das Restrições (TOC)

A Teoria das Restrições (TOC) foi desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt e foi explicada no livro *A Meta*, segundo a qual os sistemas complexos possuem poucas (ou uma) restrições que limitam o crescimento de todo o conjunto. Para alcançar resultados superiores a TOC propõe os 5 passos de focalização (GOLDRATT, 1984):

Passo 1: Identificar a restrição do sistema;

Passo 2: Explorar a restrição do sistema;

Passo 3: Subordinar todo o resto à decisão anterior;

Passo 4: Elevar a restrição do sistema;

Passo 5: Se, no Passo 4, a restrição tiver sido eliminada, voltar ao Passo 1.

Segundo Lacerda (2005), estas restrições podem ser:

- Um recurso físico;
- Políticas Gerenciais;
- Fatores Comportamentais.

Inicialmente focada na administração da produção, outras aplicações da TOC foram desenvolvidas para áreas como logística, marketing e projetos. Este último método é conhecido como Método da Corrente Crítica (*Critical Chain Project Management – CCPM*).

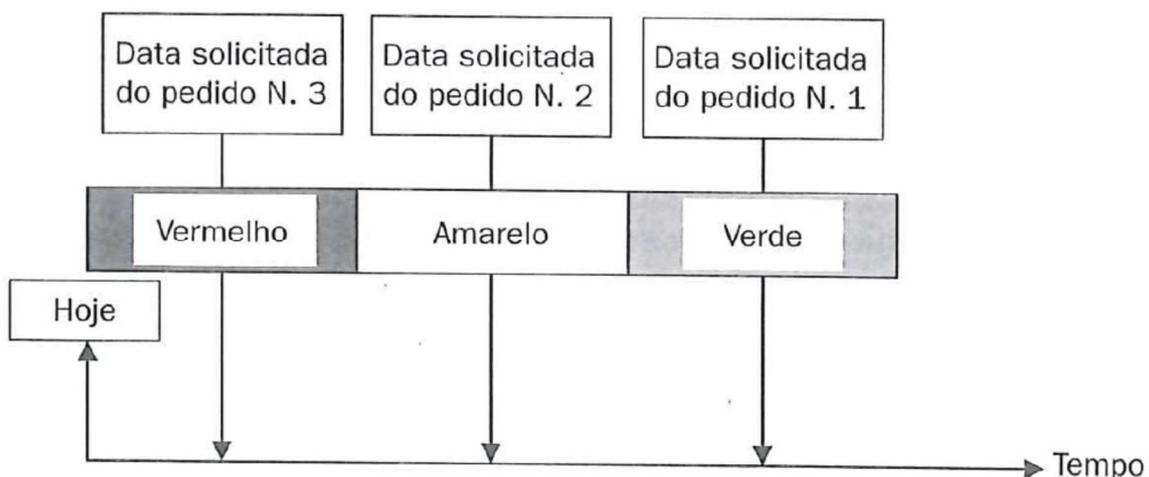
2.4.1 TOC na Administração da Produção em Manufatura

Segundo Cox III & Schleier Jr (2013), o Tambor – Pulmão - Corda (TPC) é um mecanismo de programação e controle da produção empregado para implementar a

TOC em estabelecimentos de serviços ou de produção seriada. O conceito do TPC é que o recurso mais lento de uma cadeia de produção (Tambor) deve ditar o ritmo de todos os outros recursos, caso contrário os estoques aumentariam infinitamente. Para proteger esta restrição deve-se criar um estoque de tempo (Pulmão) e um mecanismo de priorização, chamado de Gerenciamento dos Pulmões (Corda), que é responsável por coordenar a programação de todas as outras operações no ritmo da restrição, impedindo a superprodução ou a ociosidade dos recursos restritivos.

Diferentemente do Sistema Toyota de Produção (STP), o TPC defende a concentração dos esforços nas operações dos recursos restritivos e nos pulmões (estoques de tempo) que protegem o fluxo para estes recursos, eliminando as proteções em outros pontos do processo. Uma vez que o recurso restritivo (Tambor) é programado conforme a sequência de entrega ao cliente, o prazo de proteção (Pulmão) existente para cada produto ou item demandado pelo Tambor determina a prioridade na ordem de produção dos outros recursos. Para controlar o fluxo, o TPC age na liberação dos materiais. Todo dia deve-se verificar o nível dos pulmões dos pedidos para determinar a prioridade de cada ordem de serviço, classificando-as em três grupos: vermelho (urgente), amarelo (atenção) e verde (folgado), como mostra a Figura 6, liberando os materiais para os recursos conforme esta ordem de prioridade.

Figura 6 – Gerenciamento dos pulmões na programação de manufatura



Fonte: Cox III & Schleier Jr (2013)

Os conceitos do TPC foram desenvolvidos a partir do OPT (*Optimized Production Technology*), um *software* de programação da produção desenvolvido por

Goldratt, que possui Nove Regras para a aplicação prática na indústria (Goldratt & Fox, 1986 apud COX III & SCHLEIER, 2013):

1. Balancear o fluxo, não a capacidade;
2. O nível de utilização de um recurso não gargalo não é determinado por seu potencial, mas pela restrição do sistema;
3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos;
4. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema como um todo;
5. Uma hora economizada em um recurso não gargalo é apenas uma miragem;
6. Os gargalos determinam tanto o ganho quanto os estoques;
7. O lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento;
8. Os lotes de processamento devem ser variáveis, e não fixos;
9. As programações devem ser estabelecidas examinando-se simultaneamente todas as restrições. Os tempos de atravessamento resultam da programação e não é possível predeterminá-los.

Goldratt (2008) defende que o TPC é apropriado para sistemas produtivos cujos ciclos são curtos, com tempos de toque (ou tempos de processamento) pequenos em relação ao *lead time* (< 10%). Para produtos com tempos de toque longos (> 10%) ele desenvolveu um método para o gerenciamento de projetos, chamado de Corrente Crítica.

2.4.2 TOC no Gerenciamento de Projetos

Através do livro *Corrente Crítica*, Goldratt (1998) detalha a aplicação da TOC para projetos, chamada de *Critical Chain Project Management* (CCPM). Segundo ele, vários mecanismos contribuem para o fracasso dos projetos. Dentre eles pode-se citar:

- Durações superestimadas das atividades (proteção dissolvida);
- Superalocação de recursos;
- Multitarefa danosa;
- Síndrome do estudante;
- Operação tartaruga;

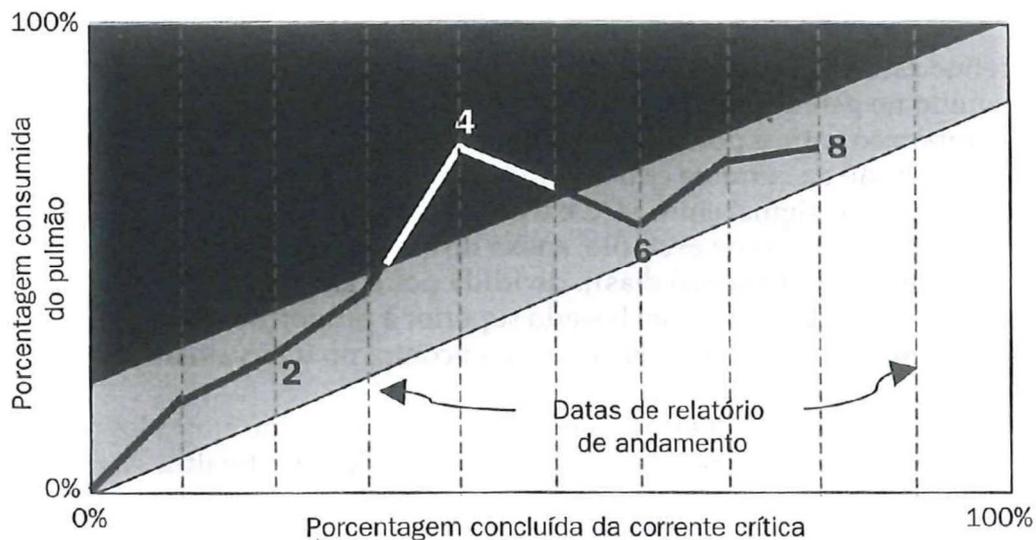
- Lei de Parkinson;
- Falta de foco do gerente do projeto.

Procurando resolver estes problemas, Cox III & Schleier Jr (2013) propõe sete etapas genéricas para a programação de um projeto baseado na Corrente Crítica. São elas:

1. Elaborar um cronograma inicial removendo as margens de segurança das estimativas de prazo das atividades (utilizar aproximadamente 50% da estimativa inicial);
2. Eliminar todas as contenções de recursos – fazer a interdependência de recursos além da interdependência de processo;
3. Identificar a Corrente Crítica – caminho crítico de processo + recursos;
4. Inserir o pulmão de projeto (50% das margens removidas na etapa 1) ao final da rede;
5. Inserir os pulmões de alimentação nos caminhos que se fundem à corrente crítica;
6. Inserir notificações (pulmões de recurso) nas atividades que não possuem predecessoras e nos recursos que entrarão em atividades da corrente crítica;
7. Analisar e atualizar o cronograma buscando opções para terminar o projeto mais cedo quando a conclusão é longínqua.

O controle do projeto se dá pelo gerenciamento do uso do pulmão do projeto, dado pela relação entre o Uso do pulmão de projeto (%) x Conclusão da corrente crítica (%), como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Gerenciamento do pulmão de projeto

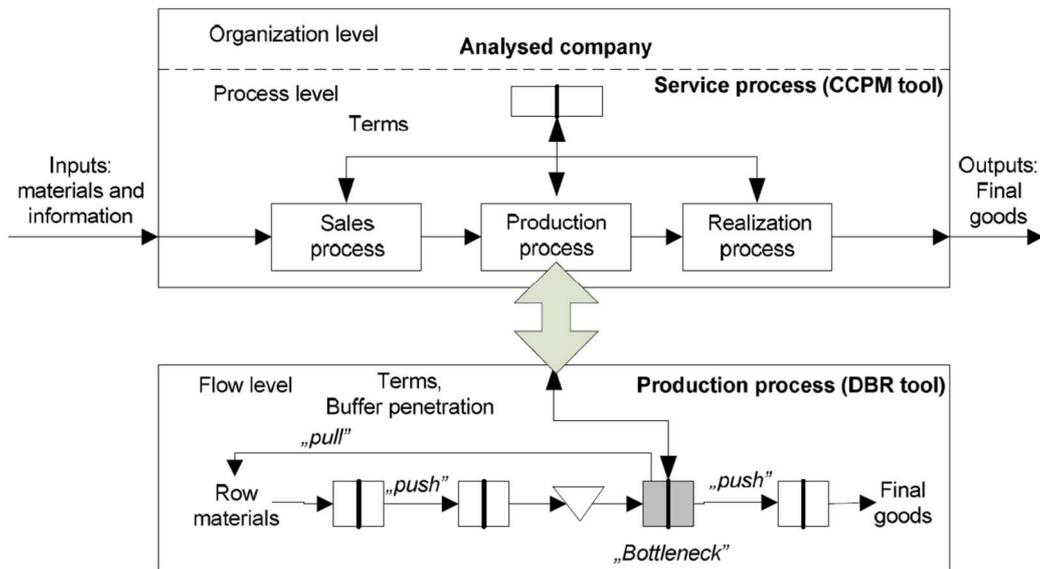


Fonte: Cox III & Schleier Jr (2013)

O CCPM é um método de planejamento de projetos típicos, baseados em rede de atividades discretas. Seus conceitos podem ser adaptados para os métodos para projetos contínuos como foi visto anteriormente, principalmente na questão gráfica.

Segundo Kahmann et al. (2014), a construção civil tem sido o campo de maior publicação de estudos envolvendo aplicações da Corrente Crítica, devido à importância do fluxo de informações em paralelo com a execução do projeto. Guofeng Ma et al. (2014) testa a aplicação de métodos de balanceamento de múltiplos recursos com a Corrente Crítica em obras de construção. Soares et al. (2009) descreve os resultados obtidos com a aplicação da TOC em uma fornecedora da construção civil. Cyplik et al. (2012) estudam um caso de integração entre TPC e CCPM, combinando as ferramentas da TOC para o gerenciamento do ciclo de vendas e assistência ao cliente (CCPM) com o gerenciamento do chão de fábrica (TPC), conforme figura 8.

Figura 8 – Integração do Tambor – Pulmão – Corda com a Corrente Crítica



Fonte: Cyplik et al. (2012)

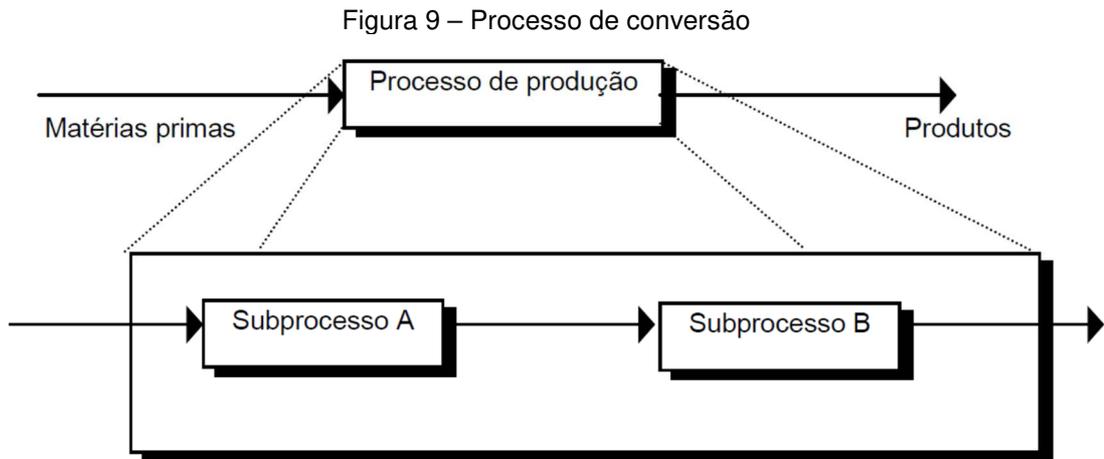
Estes estudos explicitam que várias pesquisas estão sendo feitas buscando aplicar a TOC em na construção civil. Porém, não encontram-se estudos para a aplicação em obras rodoviárias.

Outra iniciativa buscando o aprimoramento do setor da construção civil foi feito por Koskela (1992), propondo uma nova metodologia de produção aplicada à construção civil, o que motivou a criação do *International Group of Lean Construction* (IGCL). O IGCL busca consolidar o conhecimento e as práticas desta iniciativa, que foi batizada de *Lean Construction*.

2.5 *Lean Construction* Aplicado à Programação da Produção

Segundo a definição tradicional, a construção pode ser descrita como um conjunto de processos de conversão, cada uma constituída por entrada, processamento e saída, com as seguintes características (Figura 9):

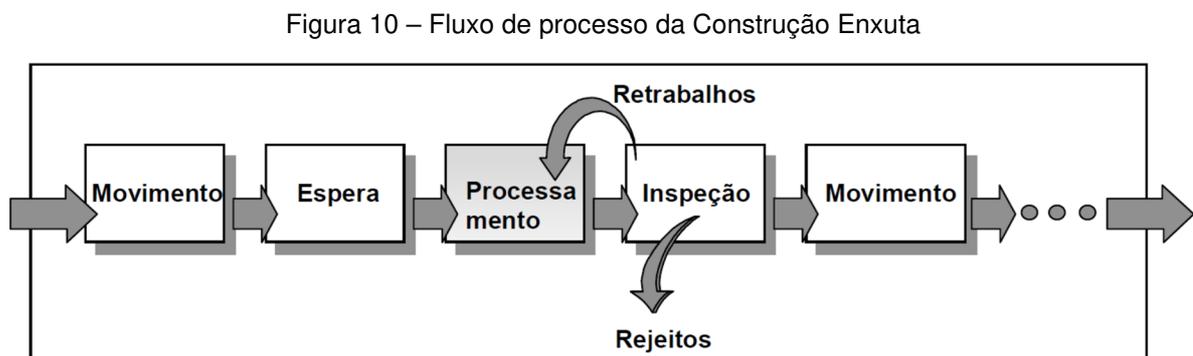
- Podem ser divididos em sub-processos até a decomposição total da obra;
- Os esforços de melhoria normalmente focam somente as atividades de conversão;
- O valor de um produto é relacionado unicamente ao custo de seus insumos.



Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

Neste caso, as atividades consideradas na programação estão relacionadas com as transformações em torno do produto, enquanto que existe uma infinidade de fluxos que não agregam valor, mas agregam parcelas significativas de custo aos projetos. Além disto, as melhorias promovidas em um processo de conversão podem não gerar melhorias para o processo como um todo.

Seguindo a lógica do Mecanismo da Função Produção, Koskela (1992) sugere um novo modelo de fluxo para a construção enxuta, considerando os mesmos elementos da Função Processo (SHINGO, 1996) (Figura 10).



Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

Esta mudança conceitual baseou a definição de 11 princípios básicos da *Lean Construction* (KOSKELA, 1992):

1. Reduzir a proporção de atividades que não agregam valor;
2. Aumentar a receita pela avaliação sistemática dos requisitos dos clientes;
3. Reduzir a variabilidade;
4. Reduzir o tempo de ciclo;
5. Simplificar reduzindo o número de passos e peças;
6. Aumentar a flexibilidade das saídas;
7. Aumentar a transparência dos processos;
8. Concentrar os controles no processo como um todo;
9. Melhoria contínua dos processos;
10. Balancear as melhorias de fluxo com as melhorias nas conversões;
11. Benchmark.

Baseado nos princípios da *Lean Construction*, Ballard (2000), desenvolveu um modelo de planejamento para obras de construção civil chamado de *Last Planner System* (LPS), objetivando melhorar a programação e o controle na construção civil. Segundo ele, as atuais sistemáticas de planejamento normalmente são baseadas na decomposição das principais atividades e tratadas de forma independente, enquanto que na prática elas possuem relacionamento. Estes planos também se mostram muito complicados para os trabalhadores nos níveis inferiores, acarretando desconhecimento e dificuldade no controle do andamento das tarefas. A alta variabilidade dos processos acaba desatualizando os planos, que geralmente compreendem todo o projeto (longo prazo), e assim, eles acabam sendo ignorados.

Para evitar estes problemas, o LPS adota um planejamento hierarquizado dividido em 3 níveis:

1. Planejamento Mestre (Longo Prazo) – Segundo Ballard (1997) o Planejamento Mestre deve englobar todo o projeto e orientar o coordenador sobre vários aspectos como projeções de gastos, encomenda de materiais ou equipamentos que possuem longos prazos de entrega e um primeiro dimensionamento dos ritmos de execução e os recursos necessários. Segundo este mesmo autor, estes planos não devem ser muito detalhados, pois nesta etapa ainda não há informações suficientes que fundamentem seu aprofundamento.

2. Planejamento *Lookahead* (Médio Prazo) – a principal função do Planejamento de Médio Prazo é avaliar e retirar as restrições que podem impedir a realização das atividades no período programado, além de decompor as atividades em pacotes de trabalho, definindo o fluxo e sequencia e adequando com as capacidades, bem como detalhar os métodos de trabalho, programar a aquisição de materiais no médio prazo e revisar o Plano Mestre. O horizonte de análise deste cronograma varia entre 2 semanas a 3 meses, dependendo da complexidade da obra, mas deve, sempre, ser menor que o período de controle (BERNARDES, 2003). Outra função importante é a capacidade de “puxar” a produção. Isto ocorre porque somente as atividades liberadas para o nível inferior (planejamento de curto prazo) irão gerar as demandas de recursos dentro do projeto. Para serem liberadas para a produção, os pacotes de trabalho precisam atender os seguintes requisitos (BALLARD, 2000):

- A tarefa está bem definida;
- A tarefa está na sequência correta;
- A quantidade de trabalho está compatível;
- Todos os requisitos devem estar atendidos (recursos, pré-requisitos).

Atividades que ainda possuem pendências para serem iniciadas não podem ser “empurradas” para a execução, o que é chamado de produção protegida (*Shielding production*).

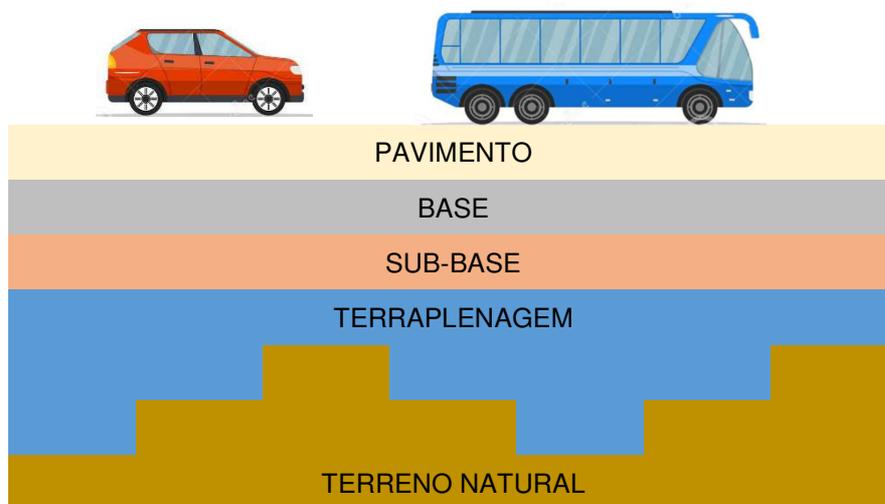
3. Planejamento de Comprometimento (Curto Prazo) – é um plano semanal onde os pacotes de trabalho liberados para a execução são distribuídos entre os recursos existentes. O objetivo desta etapa é garantir o comprometimento das equipes com a conclusão das tarefas.

No LPS o acompanhamento da execução é feito com a utilização de um indicador chamado de PPC – Percentual de Pacotes Concluídos. O cálculo do PPC é feito dividindo-se a quantidade de pacotes diários completados durante a semana pela quantidade total de pacotes planejados para a semana. Os executores devem documentar as causas que impediram a conclusão de suas tarefas, que deverão ser avaliadas gerando um ciclo de melhoria contínua (BALLARD, 2000).

2.6 As Metodologias de Programação da Produção e as Obras Rodoviárias

As rodovias são formadas por camadas de materiais que vão sendo espalhadas e compactadas, uma sobre a outra, sucessivamente, ao longo do trajeto, até alcançar a cota projetada. A medida que a camada se aproxima da superfície final da rodovia, os requisitos de resistência do material utilizado crescem até atingir as camadas selantes finais. De forma geral, estas camadas podem ser classificadas em 4 tipos, de acordo com o material e do processo envolvido: Terraplenagem, Sub-Base, Base e Pavimento. A terraplenagem é normalmente executada com solos locais, composta por um diferente número de camadas com o objetivo de conformar o terreno natural ao projeto da estrada. As atividades que se sobrepõem à terraplenagem (a sub-base, a base e o pavimento) são costumeiramente constituídas de pedras britadas, com espessuras constantes, e são chamadas de serviços de pavimentação (Figura 11).

Figura 11 – Perfil de uma rodovia



Fonte: Elaborado pelo autor

Para gerenciar estas atividades, os principais modelos de planejamentos de obras rodoviárias apresentados se inserem nos projetos com atividades repetitivas e lineares, que utilizam modelos gráficos com as dimensões espaço e tempo para determinar as datas inicial e final de execução de cada atividade e o seu local de atuação (HARMELINK & ROWINGS, 1998; HARRIS & IOANNOU, 1998; EL-RAYES

& MOSELHI, 1998). Está claro na literatura que a adoção destes modelos é indispensável, pois é praticamente impossível planejar e gerenciar projetos repetitivos em modelos de PERT/CPM ((LEU & YANG, 1999; LEU et al., 2000; GALLOWAY, 2006; ROGALSKA & HEJDUCKI, 2007; LU et al., 2008; HARIGA & EL-SAYEGH, 2010 apud DAMCI & POLAT, 2014)). Apesar de possuírem pequenas diferenças entre si, compartilham princípios centrais em comum, como:

- Eles são “*resource driven*”, ou seja, além da restrição técnica de precedência, eles também respeitam a restrição da equipe. Ou seja, se a equipe está ocupada em dado momento, realizando uma atividade, ela não pode estar sendo utilizada em outro ponto ao mesmo tempo. Por outro lado, o modelo cria o requisito da continuidade de recurso, ou seja, o plano precisa garantir a continuidade de utilização do recurso;
- Os estudos explicitam métodos para identificação do “caminho crítico”, também chamado de Caminho de Atividades Controladas (HARMELINK & ROWINGS, 1998) ou Sequência de Controle (HARRIS & IOANNOU, 1998). Sua representação, porém, é de difícil aplicação. De forma resumida, grande parte do caminho crítico em projetos com atividades lineares percorre somente a atividade mais longa da obra.

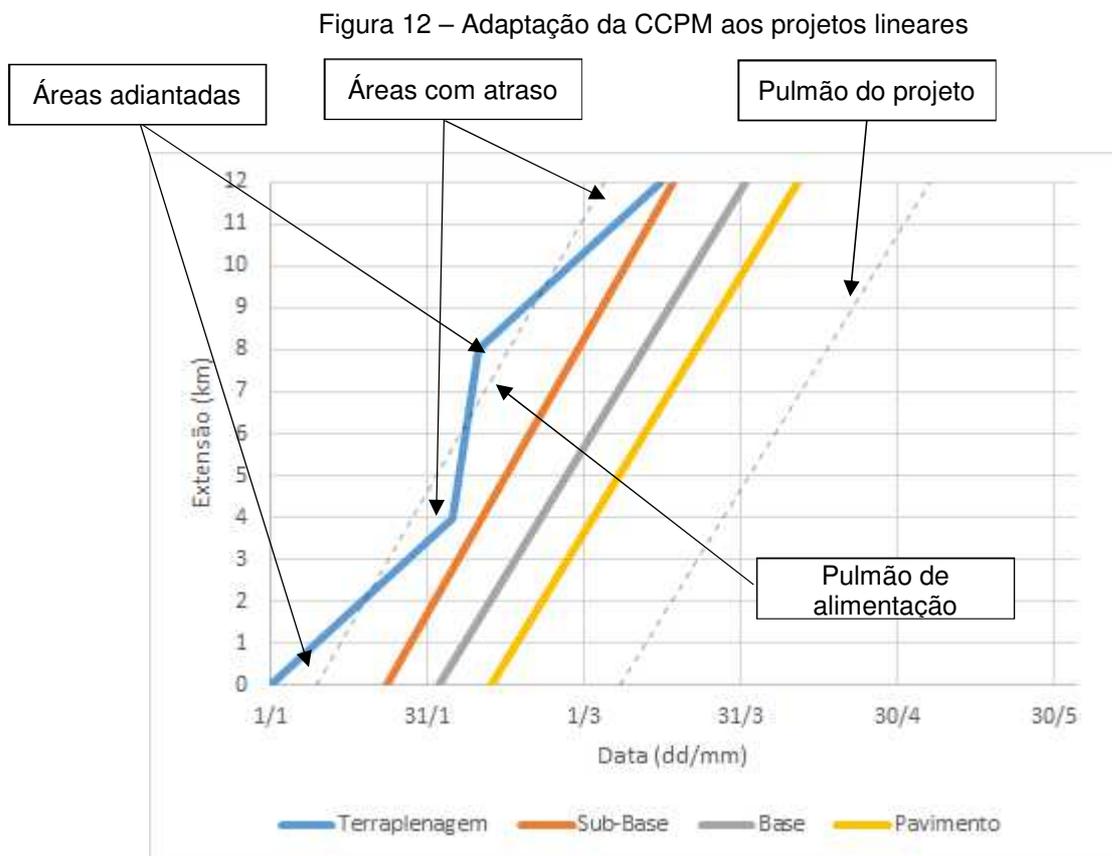
Os estudos mais recentes propõem funções matemáticas para otimizar a utilização dos recursos existentes considerando uma série de variáveis. Não consideram o tempo de atravessamento, mas o prazo total do projeto e suas equações focam a redução do custo do projeto, sem propor diretrizes para redução de prazo. Somente o estudo de Zang et al. (2017) propõe a utilização das atividades de controle regressivo para redução do prazo total dos projetos, porém limitado à capacidade de redução dos recursos destas atividades.

Visando reduzir o prazo de realização de projetos, Goldratt (1998) propõe a utilização do método da Corrente Crítica. Neste caso, é necessário adaptar seus conceitos às características das obras rodoviárias, no que diz respeito à:

- Estimativa de produtividade – os principais serviços em obras rodoviárias possuem estimativas de produtividade bem apuradas, não havendo margem de incerteza (proteção) relevante nesta estimativa de tempo. Porém há variáveis que interferem no cálculo da produtividade, como o clima, que podem ser removidas e compensadas pela inserção dos pulmões de projeto e alimentação da CCPM;

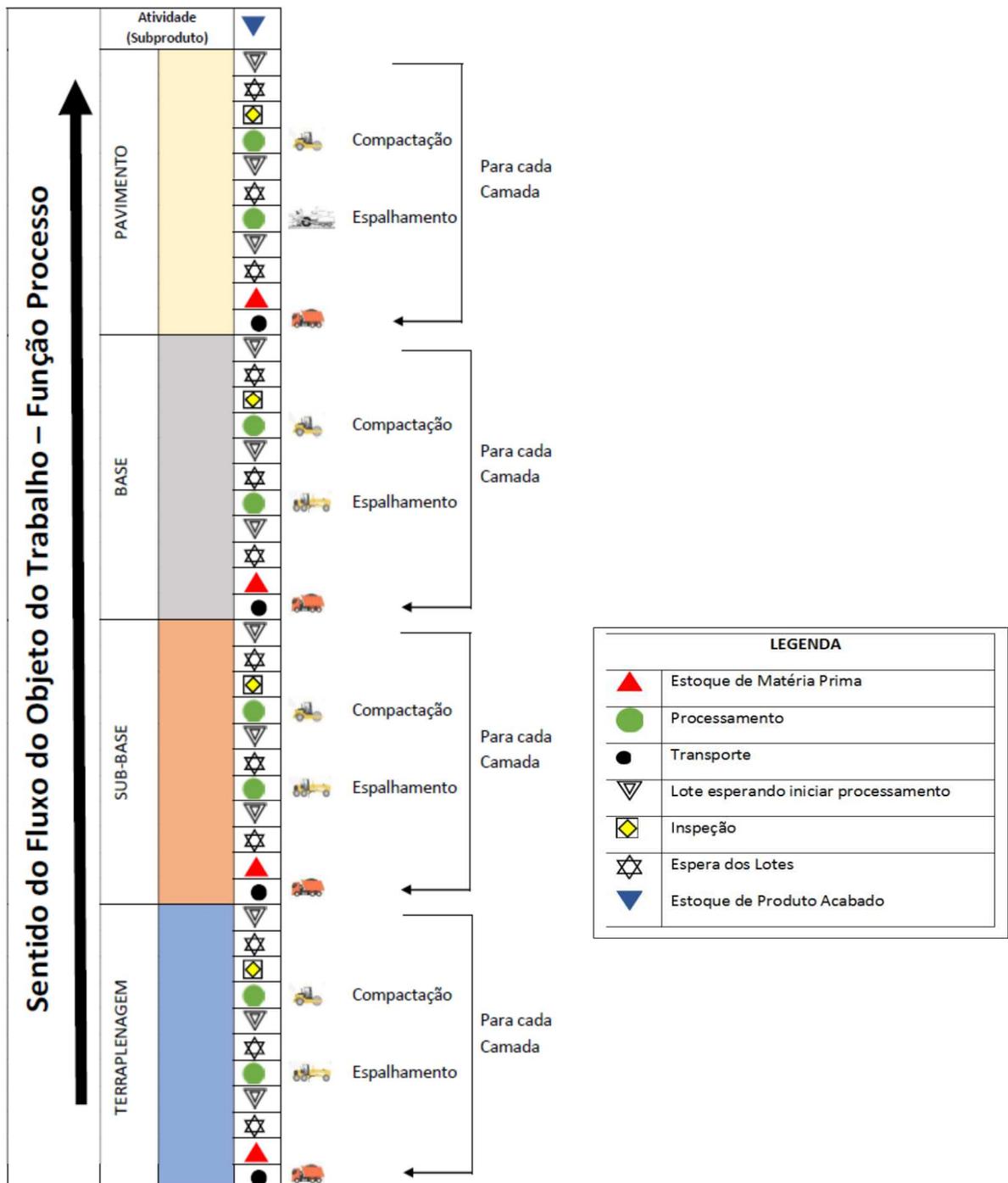
- Eliminar as restrições de recursos – a maioria dos modelos de planejamento de projetos lineares apresentados são guiados pelos recursos (*Resource Driven*), ou seja, estas contenções já são tratadas na origem;
- Identificar a corrente crítica – a corrente crítica será a mesma identificada pelo Caminho de Atividades Controladas dos projetos lineares;
- Inserir pulmões e controlar o projeto pelo consumo dos pulmões – medir o andamento do projeto pelo atraso no início de uma atividade em um determinado ponto pode não demonstrar o atraso no projeto, devido a uma variação natural nos pontos de ataque das obras. Seria necessário fazer o cálculo das áreas adiantadas e atrasadas para poder avaliar corretamente o andamento da atividade.

A Figura 12 ilustra as adaptações propostas pela literatura, a partir de uma simulação baseada em dados genéricos.



Segundo a teoria do Mecanismo da Função Produção, pode-se identificar os atrasos através da análise dos elementos do fluxo de produção das obras rodoviárias, conforme Figura 13 (SHINGO, 1996).

Figura 13 – Fluxo de produção de uma obra de construção rodoviária



LEGENDA	
	Estoque de Matéria Prima
	Processamento
	Transporte
	Lote esperando iniciar processamento
	Inspeção
	Espera dos Lotes
	Estoque de Produto Acabado

Fonte: Adaptado de Shingo (1996)

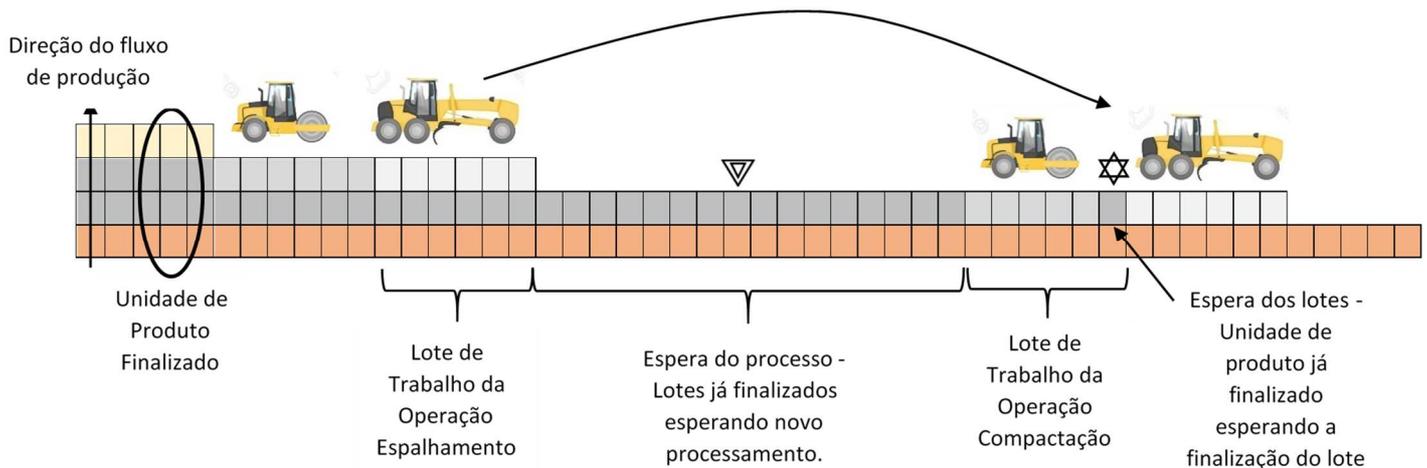
Os elementos da Função Processo, dentro do contexto de obras rodoviárias são:

- Estoque de matéria prima – São todos os estoques dos materiais em seu estado inicial, como áreas de terra que servem de jazidas ou pilhas de pedras britadas.
- Processamento – Os principais processamentos envolvidos nas obras rodoviárias são a escavação, o espalhamento e a compactação.
- Transporte – Envolve a movimentação dos materiais necessários, como solos, britas, misturas asfálticas ou concreto de cimento. Podem ser provenientes do próprio trecho em execução, jazidas externas ou de unidades industriais (britagens e usinas de asfalto ou concreto).
- Espera dos lotes – A espera dos lotes é o tempo que uma unidade de extensão (um metro, por exemplo) de uma determinada camada aguarda, antes e depois do seu próprio processamento, para que toda a extensão da camada em execução esteja concluída. Esta espera está diretamente ligada ao tamanho do lote de transferência.
- Espera do processo – A espera do processo é o tempo que um lote (extensão) de camada concluída aguarda para que uma nova camada de material seja processada sobre ela. Esta espera está diretamente ligada ao tamanho do lote de transferência.
- Inspeção – As principais inspeções se referem aos ensaios técnicos dos materiais após a compactação de cada camada e verificações geométricas da pista.

Shingo (1996) afirma que as esperas são os maiores responsáveis pelo tempo de atravessamento, e elas são proporcionais, em última análise, ao tamanho dos lotes de trabalho e de transferência. Nas obras rodoviárias, o tamanho do lote de trabalho

é a extensão executada a cada ciclo de operação. Já o lote de transferência é a extensão de camada concluída que começa a ser coberta por nova camada (Figura 14). Já o lote de processamento é equivalente à extensão total da camada que necessita ser processada.

Figura 14 – Definição de lotes e esperas em obras rodoviárias



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que além da extensão do lote de trabalho, a localização dele também influencia no tamanho do lote de transferência. Quando os lotes são executadas em uma sequência horizontal, independentemente da extensão de cada lote de trabalho, o lote de transferência vai aumentando até que uma nova camada é implementada sobre esta. A localização do trabalho deve ser definida no planejamento de longo prazo e confirmada na programação de curto prazo. O TPC e o Kanban têm esta função na indústria. Não permitem a superprodução, evitando o acúmulo de estoques em processo. A diferença entre os dois métodos reside na localização dos pulmões do sistema. Enquanto que o Kanban distribui os estoques de forma equilibrada dentro do processo, o TPC concentra estes estoques somente nos recursos restritivos. Ballard (1997) procura replicar este efeito nas obras quando dá ênfase aos planos de médio e curto prazos. O plano de médio prazo elimina as restrições, liberando para a execução somente pacotes de trabalho que tem condições de serem concluídos. Já o plano de curto prazo e o sistema de controle baseado em objetivos diários discretos visam reduzir a variabilidade do sistema e o estoque em

processo de pacotes inacabados. Não há no LPS qualquer recomendação especial que vise reduzir o tempo de atravessamento, mas seu efeito estabilizador contribui para a eliminação de perdas e, ainda, eventuais diretrizes para redução do tempo de atravessamento podem ser incluídas nas sistemáticas de planejamento de médio e curto prazos.

O efeito colateral da redução do tamanho dos lotes é o incremento do número de preparações ou *set-ups*. Na indústria, estas preparações envolvem ajustes complexos, que costumam tomar muito tempo. Nas obras rodoviárias, as preparações ou *set-ups* estão ligados à mobilização ou movimentação de equipamentos na obra, para que se posicionem no correto local do objeto, além das locações topográficas para a execução da nova camada. Aliado a estas atividades, tem-se as inspeções de controle de qualidade dos materiais e de controle topográfico feitas após a compactação de cada camada. Enquanto as atividades de *set-up* e inspeção estiverem sendo efetuadas, as equipes não podem trabalhar sobre a camada, necessitando trabalhar em outro ponto, criando mais estoque em processo. Portanto, a redução do tempo de preparação e inspeção de um lote é fundamental para viabilizar a direção vertical do fluxo e reduzir o tempo de processamento.

De forma resumida, sob o ponto de vista da Função Processo, pode-se identificar 3 elementos que possuem maior influência no prazo de atravessamento (SHINGO, 1996):

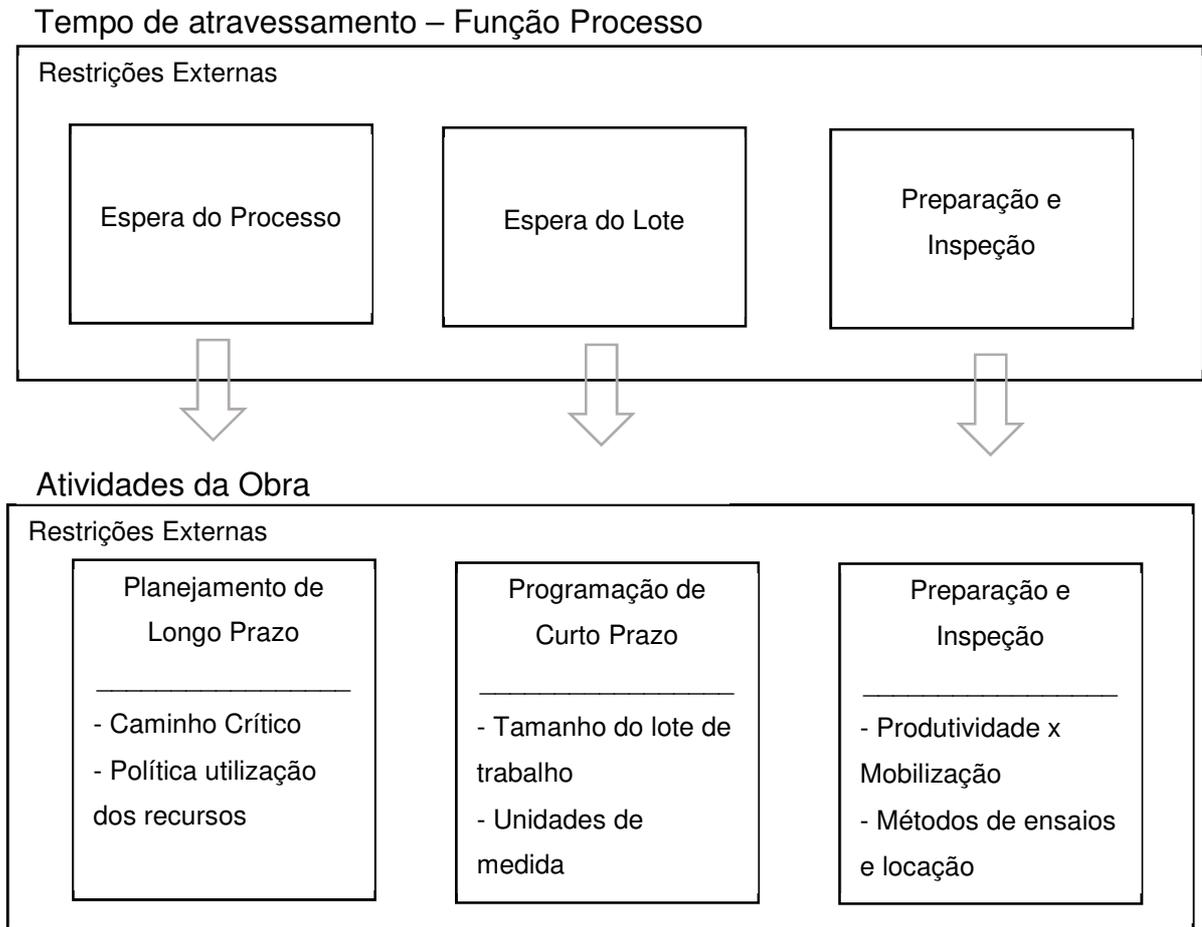
- Espera do processo
- Espera do lote
- Preparações e inspeções

A espera do processo é determinada pelo tamanho do lote de transferência entre as atividades. Ele é definido no planejamento de longo prazo das atividades, o que engloba a sincronização entre os serviços, a política de mobilização e desmobilização de equipes e a localização das atividades. A espera do lote é diretamente proporcional ao tamanho do lote de trabalho, executado em um ciclo da operação. A definição do tamanho do lote de trabalho é realizada na programação de curto prazo dos recursos, que envolve também a definição das unidades de medida das metas e objetivos.

O tempo envolvido nas preparações está relacionado às (re)mobilizações das equipes e o deslocamento delas ao longo da obra e ao tempo de locação topográfica da camada no segmento a ser executado. Já o tempo de inspeção é composto pelos

tempos para a conferência topográfica da camada concluída e para o controle de qualidade do material compactado na camada.

Figura 15 – Elementos relevantes no tempo de atravessamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, conforme mostra a Figura 15, pode-se concluir que os principais elementos que compõem o tempo de atravessamento estão diretamente subordinados às políticas, aos métodos e às ferramentas utilizadas para conceber o planejamento de longo prazo e a programação de curto prazo e para realizar as preparações e inspeções.

A Tabela 1 resume as principais características destes elementos em cada um dos modelos teóricos apresentados no referencial teórico.

Tabela 1 – Resumo Conceitos/Teorias x Eixos

	Modelos de Planejamento de Obras Rodoviárias	Sistema Toyota da Produção/MFP	Teoria das Restrições	Lean Construction / Last Planner System
Referencial Teórico	Al Sarraj, Z. M.; Arditi, D; Harmelink, D. J.; Harris, R. B.; Ioannou, P. G.	Ohno, T; Shingo, S.; Antunes Jr, J. A. V.;	Goldratt, E. M.; Cox III, J. F.; Schleier Jr, J. G.; Lacerda, D. P.	Koskela, L.; Ballard, G.;
Planejamento de Longo Prazo				
Método	Modelos Gráficos Espaço x Tempo, Linha de Balanço / Linear Scheduling	Não específica	Corrente Crítica	Plano de Longo Prazo
Conceitos / Características dos Planos	<ul style="list-style-type: none"> - Programação baseada em planos de longo prazo - Não resolvem problemas da variabilidade - Um pressuposto é garantir o ritmo dos recursos uma vez mobilizados 	<ul style="list-style-type: none"> - Os planos de longo prazo são imprecisos. Servem para garantir estabilidade ao sistema como um todo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminação das proteções nos prazos das atividades, concentrando em um pulmão de projeto ao final da rede - Consideração das restrições de recursos (Corrente Crítica) 	<ul style="list-style-type: none"> - Não deve ser muito detalhado pois possui muitas incertezas - Visa planejar os fornecimentos com longos prazos de entrega
Política de Prazo	<ul style="list-style-type: none"> - Considera somente o prazo total (Projeto) - Prioriza a produtividade dos recursos - Permite a criação de estoques entre as atividades - Redução de prazo se dá pelo incremento de recursos no “caminho controlado” - Atividades Controladas Inversas 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabiliza a produção no ritmo da demanda (<i>takt time</i>) - Procura eliminar as folgas antes de incrementar os recursos 	<ul style="list-style-type: none"> - Procura reduzir o prazo eliminando folgas que não são utilizadas e reduzindo os efeitos de mecanismos como a Síndrome do Estudante e Operação Tartaruga - Permite um estoque (pulmão) somente para proteger a Corrente Crítica 	<ul style="list-style-type: none"> - Procura determinar um ritmo constante de trabalho e eliminar as folgas entre as atividades
Controle	Representação gráfica entre o planejado e o executado	Controle do <i>takt</i>	Controle realizado pela avaliação do consumo dos pulmões	Não específica
Programação de Curto Prazo				
Método	Não específica	Kanban	Tambor – Pulmão – Corda (TPC)	Planos de Médio e Curto Prazo (Pull Planning)
Conceitos / Características dos Planos	Não específica	<ul style="list-style-type: none"> - Produção programada pela demanda real - Redução dos lotes de produção e transferência e dos estoques em processo 	<ul style="list-style-type: none"> - Produção da restrição pela demanda real - Liberação das outras atividades somente para atender ritmo e prazos da restrição - Criação de estoque somente para proteger a restrição - Redução dos lotes de produção e transferência 	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de médio prazo analisa restrições e libera somente pacotes de trabalho que têm condições de serem iniciados e finalizados - Plano de curto prazo garante o compromisso dos executores com o plano semanal
Política de Prazo	Não específica	<ul style="list-style-type: none"> - Visa a redução do tempo de atravessamento com a eliminação das esperas 	<ul style="list-style-type: none"> - Visa a redução do prazo de atravessamento concentrando os esforços nas restrições 	<ul style="list-style-type: none"> - Visa a redução da variabilidade e de pacotes de trabalho inacabados

	Modelos de Planejamento de Obras Rodoviárias	Sistema Toyota da Produção/MFP	Teoria das Restrições	Lean Construction / Last Planner System
Controle	Não específica	Quantidade de cartões Kanbans de produção pendentos	O controle se dá pelo nível de consumo do pulmão de tempo da OS	O sistema de controle é o PPC – Percentual de Pacotes Concluídos Ciclo Semanal com pacotes de trabalho diários
Preparações e Controle de Qualidade				
Método	Não específica	- Troca Rápida de Ferramentas (TRF)	Não específica	Não específica
Conceitos / Características dos Planos	Não há referência	- Divisão da preparação em interna e externa	Não específica	Equipes Multifuncionais

Fonte: Elaborado pelo autor

Através destes três eixos e utilizando os elementos teóricos relacionados a cada um deles será possível realizar a análise da evolução e características dos casos a serem estudados nesta pesquisa.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Gerhardt & Silveira (2009, p. 31), "A pesquisa científica é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos." Neste capítulo estão descritas as estratégias e procedimentos que foram utilizados para a elaboração desta pesquisa.

3.1 Estratégia de pesquisa

A presente pesquisa buscou entender o "por quê" dos longos prazos de entrega das obras rodoviárias. A partir daí, a ideia básica consiste em elaborar diretrizes de expliquem "como" reduzir os prazos de execução destas obras. Ela não procurou formular e confirmar hipóteses, mas aprofundar o conhecimento de um fenômeno, buscando identificar aspectos da realidade que não são quantificáveis, e finalmente criar o entendimento do sistema. Estas características estão alinhadas a abordagem qualitativa de pesquisa (YIN, 2001). Do ponto de vista dos objetivos, esta pesquisa propôs criar maior familiaridade com o problema, visando seu entendimento. Portanto é uma pesquisa exploratória (GIL, 2007).

Segundo Yin (2001), o Estudo de Caso é uma estratégia indicada para questões de pesquisa envolvendo "como" e "por quê", que investigam fenômenos contemporâneos dentro do contexto da vida real, envolvendo muitas variáveis e fontes de dados. Desta forma, a estratégia de pesquisa escolhida foi o Estudo de Casos, pela sua aderência aos objetivos da pesquisa e por sua abrangência, permitindo a apuração e relacionamento de diferentes conjuntos de dados científicos, históricos e práticos.

Portanto, a estratégia de pesquisa escolhida foi Qualitativa Exploratória, realizada utilizando o método do Estudo de Caso.

3.2 Descrição do Caso

Com o objetivo de compreender os fenômenos envolvidos nas obras rodoviárias e promover maior credibilidade à pesquisa, era desejável que o caso estudado fosse relevante, envolvendo os seguintes aspectos:

Qualidade do caso:

- Obras de porte considerável;
- Acesso aos dados e atores;
- Ocorrência de atrasos (demoras);

Quantidade de casos:

- Número de obras pesquisadas;

As obras de duplicação da BR-116, entre Guaíba e Pelotas, no Rio Grande do Sul, iniciaram entre Agosto de 2012 e Junho de 2013, com prazo inicial de 2 anos para a conclusão. Porém, 6 anos depois ainda não há nenhum metro de rodovia finalizada. Com um total de 210 km de extensão, ela foi dividida em 9 Lotes contratados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) com 8 empresas ou consórcios diferentes. Um dos principais projetos do antigo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), atualmente as obras estão com ritmo reduzido pela contingência financeira do governo federal. No entanto, até Setembro de 2014 ela não sofreu com restrições orçamentárias, período em que haviam 708 milhões de reais em empenhos acumulados e 570 milhões de reais gastos (DNIT). Após as eleições de Outubro de 2014, os atrasos nos pagamentos do DNIT chegaram a 8 meses, afetando profundamente o andamento das obras. Naquele momento o projeto já havia consumido 41% do orçamento.

Esta obra foi escolhida para o estudo pois possui porte e relevância e sofre com um longo atraso. Além disto, o pesquisador tem bom relacionamento com os envolvidos, os documentos e dados são públicos e a divisão em 9 Lotes com 8 construtores diferentes garante maior capacidade de comparação entre as distintas situações.

A divisão dos Lotes de obra está ilustrada na Figura 16 e os detalhes de cada contrato estão listados na Tabela 2.

Figura 16 – Divisão dos Lotes da obra de duplicação da BR-116



Tabela 2 – Informações dos contratos das obras de duplicação da BR-116

Contrato	Empresa	Extensão Total (km)	Data Início	Prazo contratual inicial (dias)	Prazo realizado (dias)	Valor Total Contrato em Set/2014 (R\$)	Valor Consumido em Set/2014 (R\$)	% Consumida em Set/2014
Lote 1	Constran Construções e Comércio	24,46	03/06/2013	720	484	118.021.226,00	31.781.253,00	26,93%
Lote 2	Constran Construções e Comércio	26,34	02/01/2013	720	636	106.136.702,00	53.851.681,00	50,74%
Lote 3	Ivaí Engenharia de Obras	21,88	02/01/2013	720	605	75.464.878,00	30.522.438,00	40,45%
Lote 4	Consórcio Trier/CTESA	23,98	12/08/2012	720	748	86.799.714,00	29.344.713,00	33,81%
Lote 5	Consórcio Brasília Guaíba - Ribas	25,12	13/08/2012	720	778	125.217.075,00	52.190.295,00	41,68%
Lote 6	Consórcio Pelotense - CC	24,99	09/08/2012	720	782	101.568.999,00	28.634.143,00	28,19%
Lote 7	Sultepa Construções e Comércio	21,6	13/08/2012	720	778	112.902.044,17	45.505.413,00	40,31%
Lote 8	SBS Engenharia e Construções	18,9	13/08/2012	720	778	114.175.209,00	60.757.283,00	53,21%
Lote 9	Consórcio MAC - Tardelli	22,76	13/08/2012	720	778	116.733.113,00	64.220.280,00	55,01%
Total						957.018.960,17	396.807.499,00	41,46%

Fonte: DNIT/RS

Apesar do projeto utilizar algumas premissas em comum, cada Lote de obra possui características distintas de traçado e, principalmente, cada Lote está inserido em um contexto particular no que tange a metodologias de execução, experiência dos envolvidos e recursos disponíveis, que dependem de cada empresa. Estas características fazem com que a pesquisa tenha abordagem de Estudo de Casos Múltiplos.

3.3 Eixos de Análise

A partir do referencial teórico e do objetivo proposto para esta dissertação, foram definidos 4 eixos de análise a fim de facilitar e orientar a condução da pesquisa. Estes eixos são:

1. Restrições/ Motivadores Externos – este eixo busca analisar os diversos entraves, alheios ao planejamento e programação das atividades, que atrasam a entrega das obras rodoviárias, como atraso em licenças ambientais e desapropriações. Estas restrições não serão objeto de detalhamento nesta pesquisa, mas a análise de suas consequências no andamento e no planejamento e programação das obras;
2. Planejamento de longo prazo – este eixo engloba o plano geral da obra, identificação do caminho crítico, previsão de mobilização e desmobilização dos recursos, ordem de execução;
3. Programação de curto prazo – este eixo engloba as decisões de programação de curto prazo, como o tamanho e localização dos lotes a serem processados e os indicadores e metas que norteiam estas decisões;
4. Preparações e controle de qualidade – este eixo engloba a análise dos tempos de locação da pista, inspeções topográficas e controle de qualidade de solos.

3.4 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi estruturada em 4 etapas:

1. Coleta de evidências
2. Análise das evidências

3. Discussão dos resultados
4. Elaboração das premissas

3.4.1 Coleta de Evidências

Considerando que o intervalo de observação desta pesquisa está compreendido entre o início dos contratos, em Agosto de 2012, e o mês de Setembro de 2014, foram identificadas duas fontes para a coleta das evidências:

- Pesquisa Documental: esta pesquisa buscou informações nos documentos oficiais disponibilizados pelo DNIT relativos à execução das obras, como contratos, relatórios e medições de serviços, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Documentos pesquisados

Documento	Fonte	No. de docs analisados
Contratos de execução das obras	DNIT	9
Relatórios mensais de supervisão e fiscalização de obras	DNIT/Supervisoras contratadas	95
Medições dos serviços executados em cada mês	DNIT	95

Fonte: Elaborado pelo autor

Importante registrar que os relatórios mensais de fiscalização elaborados por empresas contratadas pelo DNIT para a supervisão das obras concentram uma gama de informações, como licenças emitidas, documentos trocados entre o DNIT e as construtoras, medições com as quantidades executadas e problemas enfrentados, o que facilitou a coleta.

Com base nestas informações foi possível traçar um histórico da evolução dos serviços realizados durante o prazo de observação, identificar as datas de liberações de licenças ambientais e legais, revisões de projetos ou outros impedimentos formalizados naqueles relatórios.

- Entrevistas semi – estruturadas: para aprofundar o entendimento das dimensões da pesquisa em todos os Lotes, foi solicitada uma entrevista presencial com o engenheiro civil gerente do contrato de cada trecho no período de estudo.

Somente dois engenheiros não responderam à solicitação. Sendo assim, foram realizadas seis entrevistas com os responsáveis por sete Lotes de obras da BR-116, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Dados das entrevistas realizadas

Lote	Empresa	Entrevistado	Data da Entrevista	Local	Duração
Lote 1 e 2	Constran Construções e Comércio	E1	14/11/2018	Porto Alegre/RS	48'27"
Lote 3	Ivaí Engenharia de Obras	E2	16/04/2019	Curitiba/PR	35'42"
Lote 5	Consórcio Brasília Guaíba - Ribas	E3	22/11/2018	Lajeado/RS	34'47"
Lote 6	Consórcio Pelotense - CC	E4	09/12/2018	Lajeado/RS	27'04"
Lote 8	SBS Engenharia e Construções	E5	10/01/2019	Estrela/RS	21'23"
Lote 9	Consórcio MAC - Tardelli	E6	08/11/2018	São Leopoldo/RS	37'02"

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos eixos de estudo, foi elaborado o questionário para ser aplicado aos entrevistados (Tabela 5). Foi incluída uma pergunta, a ser feita no final da entrevista, provocando o entrevistado a propor sugestões para a redução do tempo de atravessamento de obras rodoviárias.

Tabela 5 – Questionário utilizadas nas entrevistas

Eixo de Estudo	Perguntas
1. Restrições/ Motivadores Externos	1. Quais os principais motivos para o atraso no seu contrato? 2. Quais as principais restrições externas? 3. Qual o motivo para o atraso no início da pavimentação? 4. A empresa licenciou e instalou uma unidade de britagem nova para a obra?
2. Planejamento de Longo Prazo	5. Havia uma sistemática de planejamento de Longo Prazo da obra? 6. Qual era o caminho crítico? 7. Qual o critério de escolha do início da terraplenagem?
3. Programação de Curto Prazo	8. Como se dava a programação de curto prazo? 9. Como se dava a escolha do tamanho da cancha de execução e a ordenação de ataque? 10. Quais as unidades das metas e de acompanhamento e controle das obras?

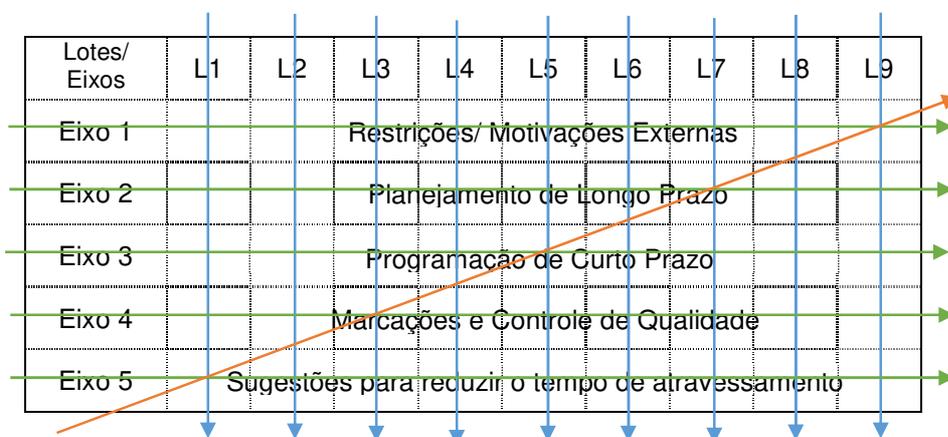
4. Preparação e Controle de Qualidade	11. De que forma as atividades de locação e controle de qualidade afetam o andamento dos trabalhos?
Sugestão baseada na experiência do entrevistado	12. Caso a obra fosse paga por extensão de rodovia finalizada, mudaria alguma coisa na programação dos serviços?

Além das perguntas, foi apresentado ao entrevistado o gráfico de evolução dos serviços do seu lote para embasar a pergunta número 3. Todas as entrevistas foram realizadas em encontros presenciais, gravadas em arquivo eletrônico de áudio e os intervalos com informações sobre os eixos de estudo foram transcritos e organizados conforme o Apêndice A.

3.4.2 Análise das evidências

Para realizar a análise dos dados foi adotado o método de proposições teóricas (Yin, 2005), onde realizou-se uma descrição abrangente de cada caso, estruturada por eixo de estudo (análise vertical ↓). Em sequência, cada eixo é examinado, buscando convergências e divergências entre os casos (análise horizontal →). Finalizando, utilizou-se o método da Síntese de Casos Cruzados (Yin, 2005), procurando identificar os motivos do longo tempo de atravessamentos nas obras rodoviárias (análise cruzada ↗) (Figura 17).

Figura 17 – Análise cruzada Caso x Eixo de Estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4.3 Discussão dos Resultados

Na discussão dos resultados buscou-se compreender as principais razões envolvidas no atraso das obras em estudo e os paradigmas que nortearam o planejamento das atividades e programação dos recursos nestas. Também foram analisados os resultados práticos obtidos em termos de tempo de atravessamento.

Posteriormente, estes conceitos foram comparados aos modelos de planejamento e programação detalhados no referencial teórico, buscando identificar oportunidades de alteração da sistemática utilizada que proporcionassem redução do tempo de atravessamento.

3.4.4 Elaboração das Diretrizes

A partir do *gap* formado entre o paradigma identificado no caso em estudo e o modelo idealizado a partir do referencial teórico em cada eixo de análise, foram elaboradas diretrizes para o planejamento e programação das obras rodoviárias visando a redução do tempo de atravessamento.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS

A seguir serão apresentadas e analisadas as informações coletadas sobre os contrato de execução da obra de duplicação da BR-116.

4.1 Análise dos Lotes

Primeiramente são apresentadas as principais informações relativas à evolução dos serviços do Lote de obra com base nos documentos pesquisados. Para a elaboração do gráfico de evolução dos serviços foram utilizados os quantitativos dos boletins de medição mensais constantes nos relatórios fornecidos pelo DNIT. Neste gráfico foram avaliados os serviços de terraplenagem das camadas baixas, terraplenagem das camadas finais, sub-base, base e pavimento. A terraplenagem das camadas finais se refere ao volume de solo compactado nos últimos 60 cm da cota superior da terraplenagem, havendo relação direta do volume com a extensão de terraplenagem concluída. A terraplenagem das camadas baixas se refere ao volume de solo compactado nas camadas inferiores, com espessuras variáveis, de acordo com o relevo do terreno natural. Neste, projeto a sub-base é de Macadame Seco, e a base é de Brita Graduada, ambas com espessura constante e compostas por misturas de pedra com diversos diâmetros, necessitando das instalações de britagem em pleno funcionamento. O pavimento é composto por camadas com espessura constante de Concreto Betuminoso a Quente, necessitando da instalação da usina de asfalto, além dos materiais britados.

Em seguida são apresentadas as informações coletadas na entrevista com o engenheiros responsáveis pelo contrato, organizadas por eixo de estudo.

4.1.1 Lotes 1 e 2 – Constran Construções e Comércio

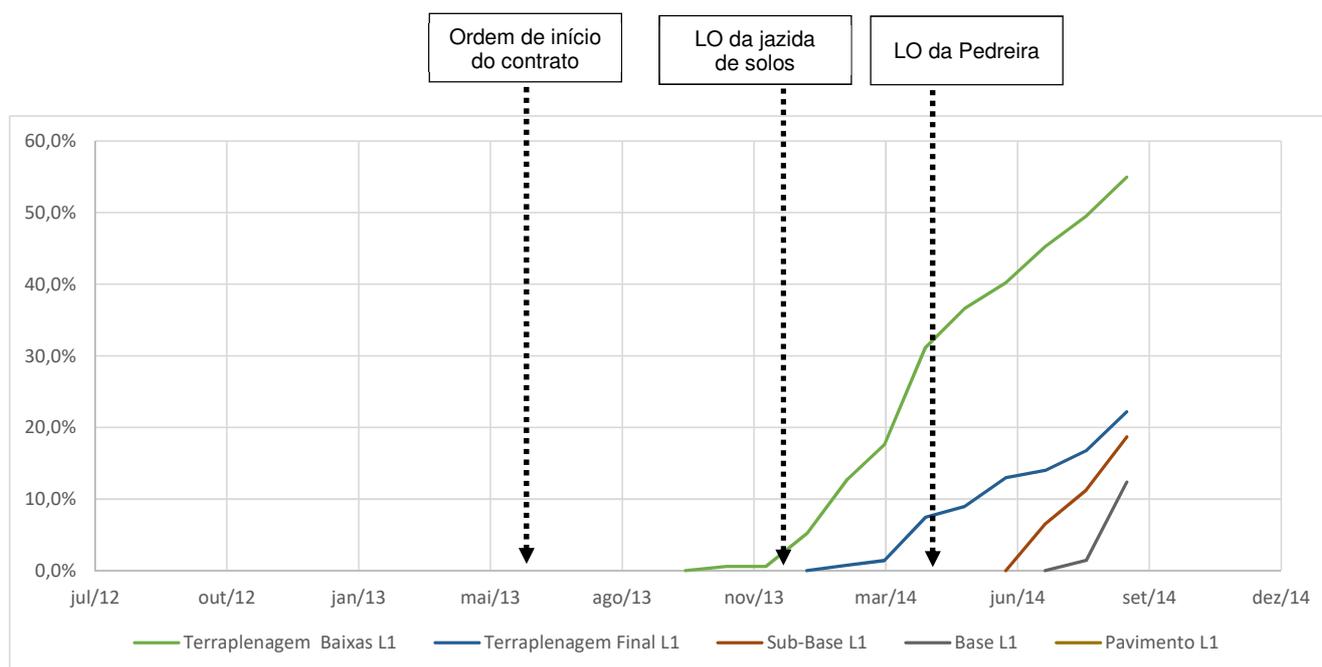
Os Lotes 1 e 2 foram executados pela empresa Constran, sob o comando do engenheiro E1. A extensão do Lote 1 é de 24,46 km e foi o último Lote a receber a Ordem de Início, em 03/06/2013. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 26,9% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Outubro de 2013, chegando a 55% de conclusão em Setembro de 2014. Em Fevereiro de 2014

iniciou a terraplenagem das camadas finais, chegando a 22,2% de conclusão em Setembro do mesmo ano. A primeira jazida de solos foi liberada em Dezembro de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Julho de 2014 e alcançou 18,7% de execução em Setembro, enquanto que a base iniciou em Agosto de 2014 e alcançou 12,4% de execução em Setembro. A liberação ambiental da pedra ocorreu em Abril de 2014 (Figura 18).

Figura 18 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 1



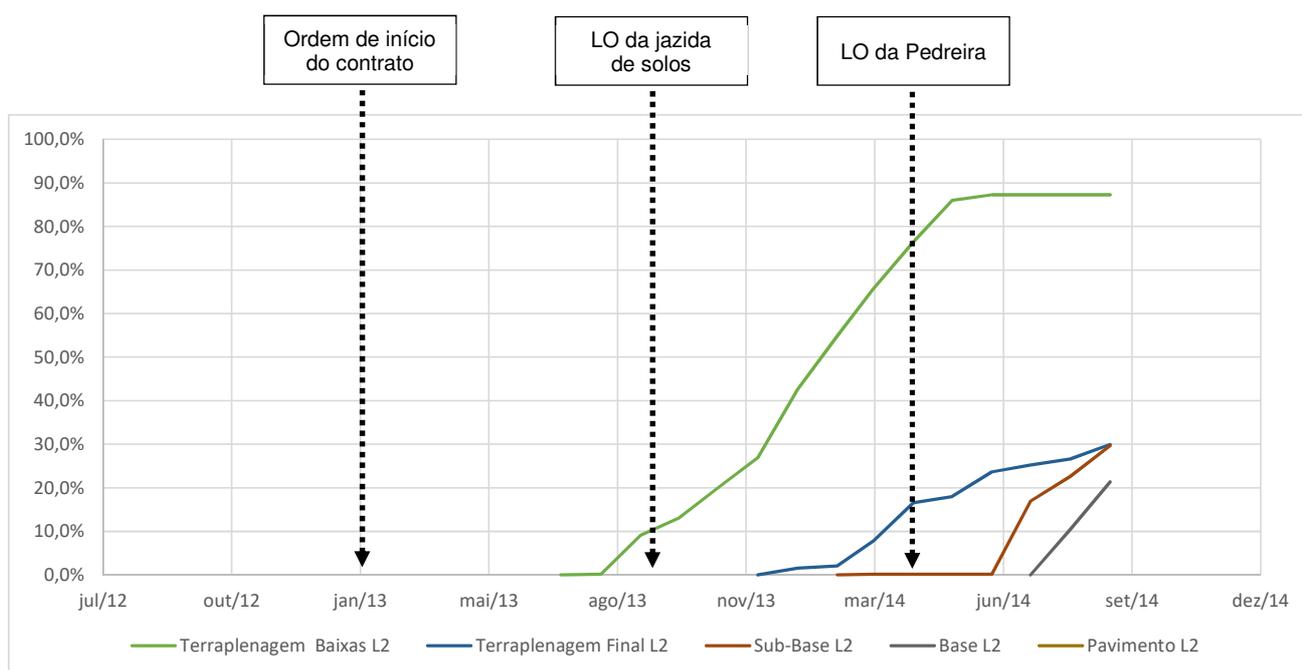
Fonte: Elaborado pelo Autor

A extensão do Lote 2 é de 26,34 km e recebeu a Ordem de Início em 02/01/2013. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 50,7% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Agosto de 2013, chegando a 87,3% de conclusão em Setembro de 2014. Em Janeiro de 2014, a terraplenagem das camadas finais foi iniciada, chegando a 29,9% de conclusão em Setembro do mesmo ano. A primeira jazida de solos foi liberada em Setembro de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Julho de 2014 e alcançou 29,7% de execução em Setembro, enquanto que a base iniciou em Agosto de 2014 e alcançou 21,4% de execução em Setembro. A pedra utilizada para os serviços de pavimentação era a mesma do Lote 1, e sua liberação ambiental ocorreu em Abril de 2014 (Figura 19).

Figura 19 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 2



Fonte: Elaborado pelo Autor

No entendimento do engenheiro E1, os principais motivos para o atraso das obras naquele período foram o projeto deficiente, que acabou demandando várias alterações, tomando tempo e atrasando a obra, a demora no licenciamento das jazidas de material para a terraplenagem e o atraso nas liberações de áreas que necessitavam ser desapropriadas. Sobre o motivo do atraso no início dos trabalhos de pavimentação, o entrevistado afirmou que necessitava de material de jazida para a execução das últimas camadas de terraplenagem, sendo obrigado a aguardar pela sua liberação ambiental. Para a execução dos serviços de pavimentação, foi instalada uma unidade de britagem e de usina de asfalto em uma área nova, exclusivamente para este projeto.

O entrevistado afirmou que fez um planejamento de toda a obra, incluindo a ordem de ataque de cada serviço, considerando que todo o trecho estivesse liberado. Após surgirem as primeiras restrições, o plano ficou desatualizado. A atualização do plano geral era realizada mensalmente exclusivamente baseada em quantidades de serviços previstos versus quantidade realizada. O saldo era empurrado para os próximos períodos. O entrevistado hesitou ao ser indagado sobre o caminho crítico, como se não entendesse o conceito. Finalmente afirmou que a terraplenagem seria o caminho crítico daqueles Lotes. Sobre a localização do início dos serviços, disse que

procurou sair de centros urbanos, buscando locais onde houvesse compensações de materiais entre cortes e aterros, dispensando jazidas licenciadas.

O engenheiro não especificou a rotina do planejamento de curto prazo, confundindo com o controle das obras, que era diário, também baseado na quantidade prevista versus quantidade realizada. As unidades das metas, do planejamento e controle eram as mesmas das planilhas contratuais, geralmente expressas em m³ ou toneladas. A respeito do tamanho dos lotes, o entrevistado afirmou que o ideal são segmentos de 2 a 3 km, não sendo recomendável “abrir” trechos com mais de 5 a 6 km pelo alto risco de retrabalho. Porém é enfático ao dizer que:

“...como nunca é possível fazer um planejamento ideal, abre-se o que der, tudo que estiver liberado.”

Na opinião do entrevistado, as atividades de locação e controle de qualidade não causaram atrasos nas atividades da obra.

Caso os contratos fossem pagos por extensão de estrada totalmente finalizada, o entrevistado diz ser fundamental iniciar a obra com todos os entraves resolvidos, além de iniciar os trabalhos nos pontos com menos densidade de serviços a realizar.

Avaliando as figuras 18 e 19, pode-se observar que as principais restrições para os serviços de terraplenagem e pavimentação foram as liberações ambientais das jazidas de solos e de pedra, respectivamente. Como a execução das camadas finais de terraplenagem em solo é um serviço que se deteriora ao ficar descoberto por longo período, seu início foi atrasado propositalmente, aguardando o início da sub-base.

Os serviços de sub-base e base, após a liberação ambiental da pedreira, se desenvolveram a taxas entre 5% e 10 % ao mês, indicando que eles poderiam ser finalizados em um prazo médio de 15 meses, que seria Outubro de 2015, 25 meses após a liberação da primeira jazida de solos do Lote 2. Este prazo é maior que o prazo contratual, o que permite inferir que a demora para a liberação da jazida de solo não justificaria todo o atraso nas obras. Apesar da afirmação que o caminho crítico passava pela terraplenagem, o Lote 2 executou 86 % da terraplenagem baixa em 9 meses, enquanto que os serviços de pavimentação (sub-base, base e pavimento), no ritmo que estava sendo aplicado, tomariam mais de 15 meses.

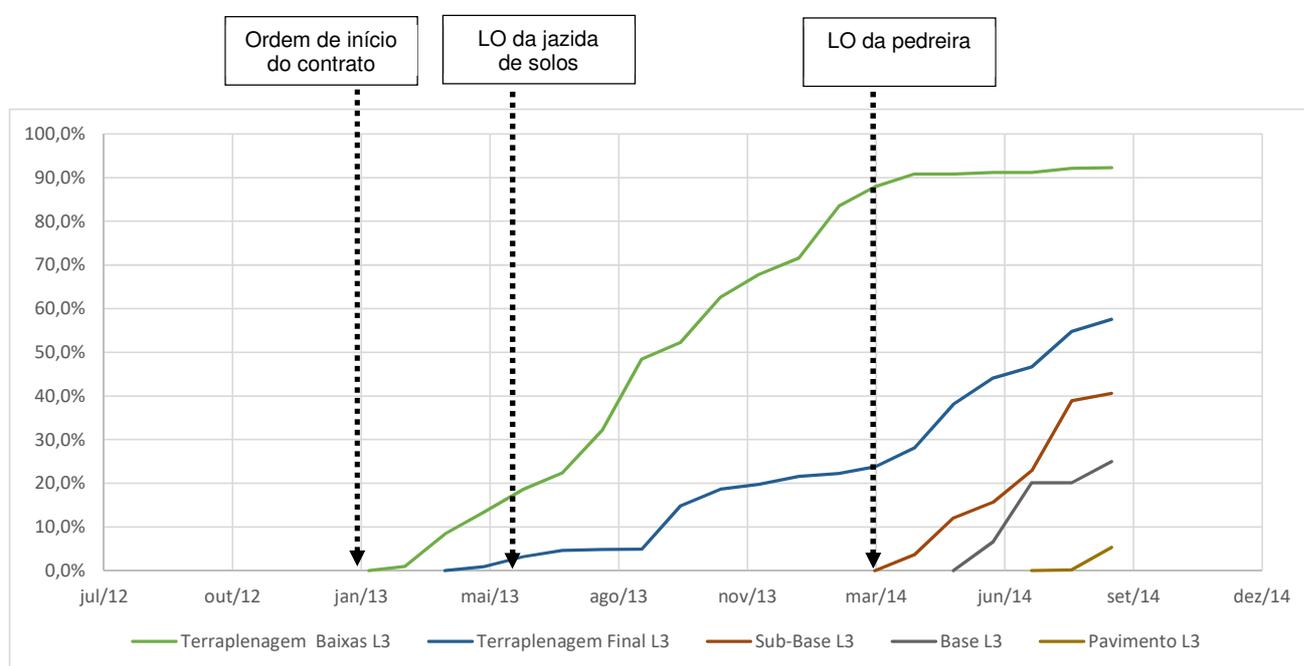
4.1.2 Lote 3 – Ivaí Engenharia de Obras

O Lote 3 foi executado pela empresa Ivaí, sob o comando do engenheiro E2. A extensão do lote é de 21,88 km e recebeu a Ordem de Início em 02/01/2013. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 40,4% do valor total do contrato.

Em Março de 2013 iniciou a terraplenagem das camadas inferiores, chegando a 92,3% de conclusão em Setembro de 2014, e em Maio de 2013 iniciou a terraplenagem das camadas finais, chegando a 57,6% de conclusão em Setembro de 2014. A primeira jazida de solos foi liberada em Junho de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Abril de 2014 e alcançou 40,6% de conclusão em Setembro, enquanto que a base iniciou em Junho de 2014 e alcançou 24,9% de conclusão em Setembro. A execução de pavimento iniciou em Agosto de 2014 e alcançou 5,3% da quantidade prevista em Setembro. A liberação ambiental da pedra ocorreu em Março de 2014 (Figura 20).

Figura 20 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 3



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na opinião do engenheiro E2, o excesso de atores envolvidos na fiscalização da obra, como supervisão técnica, supervisão ambiental, IBAMA, Iphan, Ministério do Trabalho, Auditoria Interna do DNIT, Controladoria Geral da União e Tribunal de

Contas da União, desconcentra a equipe e dificulta o andamento dos serviços. A demora na obtenção das licenças ambientais das jazidas de solo e pedra, além do tempo necessário para a instalação da britagem atrasaram o início dos serviços, em especial da pavimentação.

Foi elaborado um planejamento geral antes do início dos serviços, com ênfase nas metas financeiras e localização dos serviços, que era revisado a cada seis meses. O entrevistado não soube apontar qual era o caminho crítico do plano pois afirmava que a cada momento um serviço diferente poderia atrasar a obra, mas acreditava que a terraplenagem possuía um prazo de execução mais longo que a pavimentação. O ciclo de controle era mensal, nas mesmas unidades de serviço da planilha contratual, geralmente em m³ ou toneladas. A terraplenagem iniciou em dois pontos: um no início do trecho e o outro na metade, ambos em direção ao final do lote.

Não havia uma rotina de planejamento de curto prazo. As decisões eram tomadas no dia a dia entre os gerente do contrato, o engenheiro de produção e o encarregado. A extensão das “canchas” (tamanho dos lotes) era definida pelo engenheiro de produção, considerando diversos fatores como disponibilidade de transporte, possibilidade de chuva, habilidade dos operadores. Comentou: “algumas centenas de metros”, mas afirmou que, quando havia um grande segmento liberado e o tempo estava bom, a cancha era esticada o máximo possível.

As atividades de locação e controle de topografia e laboratório não interferiam no andamento dos trabalhos pois haviam equipes acompanhando o serviço permanentemente.

O entrevistado afirmou não ver vantagem para o cliente em remunerar os contratos por extensão de estrada concluída, pois acredita que a execução total do projeto por camadas é mais eficiente e mais rápida. Afirmou que esta metodologia traria diversas dificuldades para o dia a dia, como mobilizações e desmobilizações de equipamentos, produção de diversos materiais ao mesmo tempo na instalação de britagem, sem perceber nenhum retorno.

Pode-se observar que as restrições para os serviços de terraplenagem e pavimentação foram as liberações ambientais das jazidas de solos e de pedra, respectivamente.

Os serviços de sub-base e base, após a liberação ambiental da pedreira, se desenvolveram a uma taxa média de 8 % ao mês, indicando que eles poderiam ser finalizados em um prazo médio de 12 meses, que seria Junho de 2015, 24 meses

após a liberação da primeira jazida de solos do Lote 3. Este prazo seria compatível com o prazo contratual.

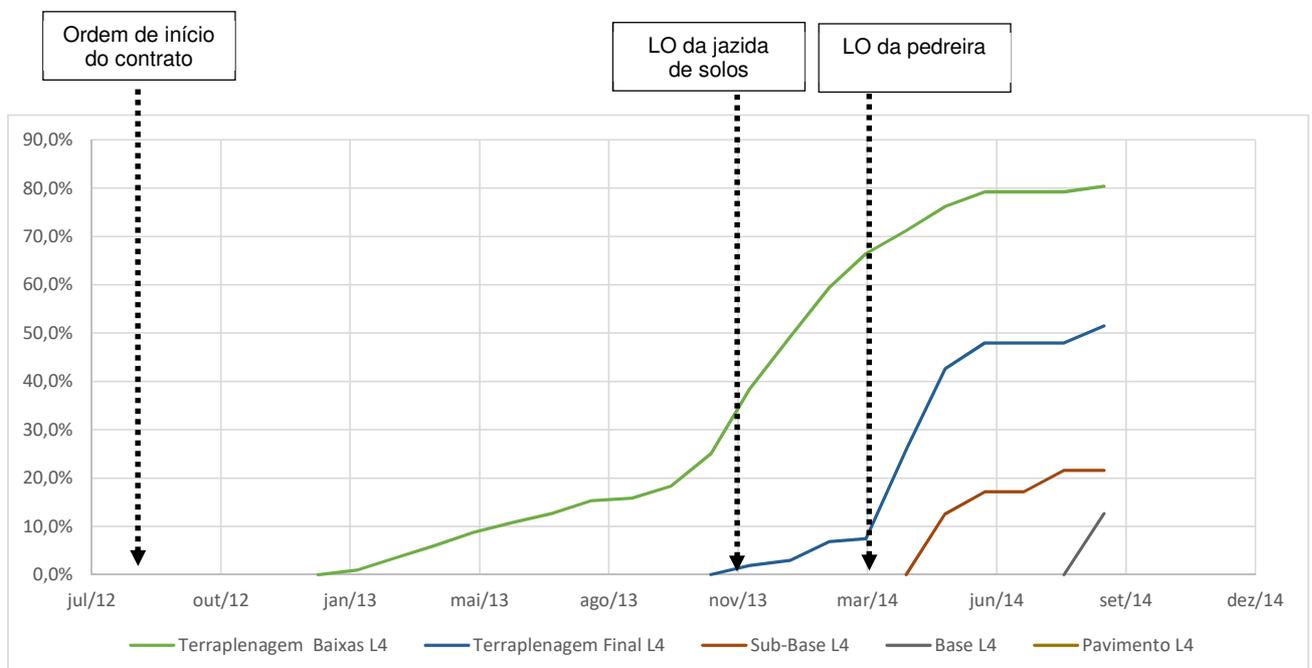
4.1.3 Lote 4 – Consórcio Trier - Ctesa

O Lote 4 foi executado pelo Consórcio Trier-Ctesa. A extensão do lote é de 23,98 km e recebeu a Ordem de Início em 12/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 33,8% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem iniciou em Fevereiro de 2013 nas camadas inferiores, alcançando 80,4% de conclusão em Setembro de 2014. Em Dezembro de 2013 iniciou a terraplenagem das camadas finais, chegando a 51,4% de conclusão em Setembro de 2014. A primeira jazida de solos foi liberada em Julho de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Maio de 2014 e alcançou 21,6% de conclusão em Setembro, enquanto que a base iniciou em Setembro de 2014 e alcançou 12,6% de conclusão em Setembro. A liberação ambiental da pedra ocorreu em Março de 2014 (Figura 21).

Figura 21 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 4



Fonte: Elaborado pelo Autor

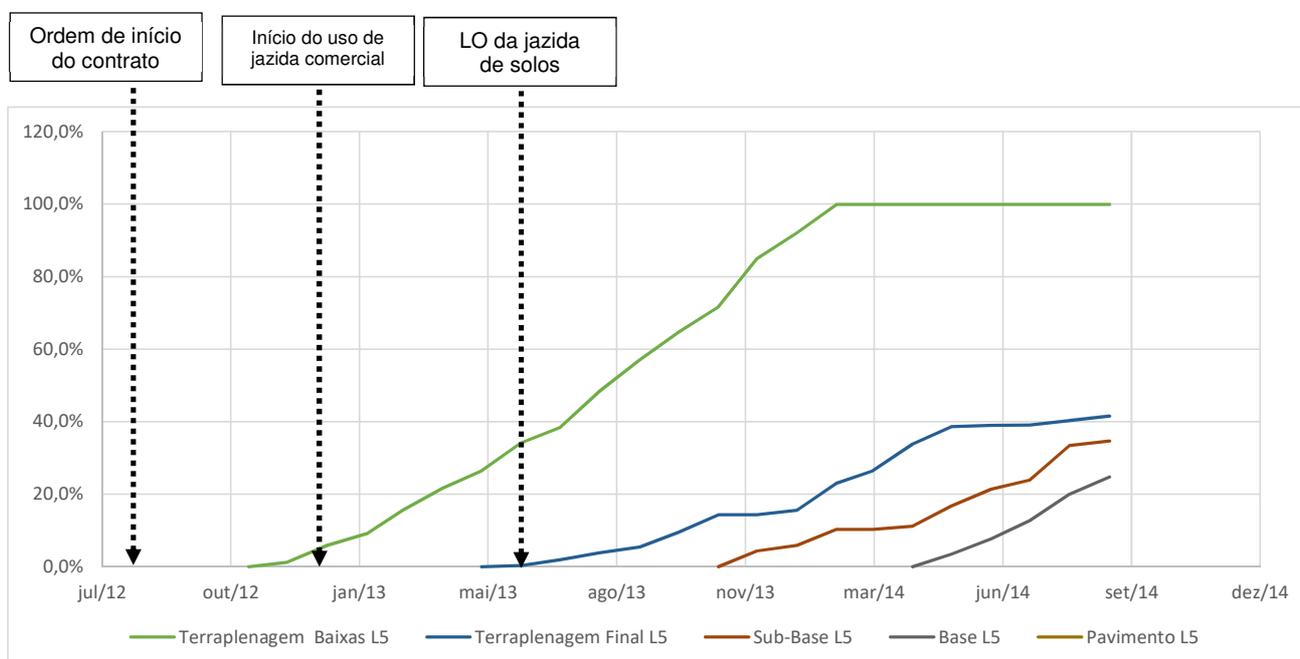
4.1.4 Lote 5 – Consórcio Brasília Guaíba - Ribas

O Lote 5 foi executado pelo Consórcio Brasília Guaíba - Ribas, sob o comando do engenheiro E3. A extensão do lote é de 25,12 km e recebeu a Ordem de Início em 13/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 41,7% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Dezembro de 2012, alcançando 99,9% de conclusão em Setembro de 2014, e a terraplenagem das camadas finais iniciou em Junho de 2013, chegando a 41,5% de conclusão em Setembro de 2014. Em Dezembro de 2012 foi liberada a utilização de uma jazida comercial de solo, e em Junho de 2013 foi liberada a primeira jazida de projeto.

O serviço de sub-base iniciou em Dezembro de 2013 e alcançou 34,6% de conclusão em Setembro do ano seguinte, enquanto que a base iniciou em Maio de 2014 e alcançou 24,7% de conclusão em Setembro. A pedra utilizada pelo consórcio já estava em operação no início da obra (Figura 22).

Figura 22 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 5



Fonte: Elaborado pelo Autor

No entendimento do engenheiro E3, o principal motivo para o atraso das obras naquele período foi a demora no licenciamento das jazidas de material para a terraplenagem, principalmente para as camadas finais, que demandam materiais mais

nobres. Comentou que há um descompasso, uma vez que estes materiais encontram-se nas camadas superiores das jazidas e, como são os primeiros a serem explorados, acabam sendo aproveitados no fundo dos aterros, onde a utilização de materiais de qualidade inferior é permitida. Outro motivo apontado para justificar a demora do início das atividades de pavimentação foi a política da empresa de iniciar novos serviços somente quando houvesse um segmento mínimo de 2 km para ser executado. Esta é a extensão do lote de transferência entre atividades diferentes. O consórcio já possuía uma instalação de britagem e usina de asfalto em operação no início da obra, para a utilização nos serviços de pavimentação.

O entrevistado afirmou que foi elaborado um planejamento de toda a obra, baseado na meta de valor monetário mensal a ser atingido, decompondo-se em equipes necessárias, mas sem localizar os serviços no trecho. Elaborado em Excel, este plano priorizou os serviços de drenagem para evitar interferências com a terraplenagem e o caminho crítico identificado foram os serviços de pavimentação, como sub-base, base e pavimento. A atualização do plano geral era realizada mensalmente exclusivamente baseada em quantidades de serviços previstos versus realizados, utilizando as mesmas unidades das planilhas contratuais, geralmente expressas em m³ ou toneladas. O local do início dos serviços de terraplenagem foi perto da jazida liberada naquele momento, onde também encontravam-se os menores aterros. Os aterros mais altos somente eram atacados caso não fosse possível utilizar o material nas camadas finais.

O controle da produção era diário. Semanalmente, nas sextas feiras, era realizada a programação de curto prazo, avaliando-se as quantidades previstas versus quantidades realizadas, decidindo sobre a necessidade de recuperação de serviços no sábado e domingo, além da programação das atividades para a próxima semana, inclusive com a localização no trecho. Sobre o tamanho dos lotes de trabalho, o entrevistado afirmou que a “cancha” de execução era definida em 400 metros lineares para terraplenagens de camadas baixas e 200 metros lineares para a terraplenagem de camadas finais.

Na opinião do entrevistado, as atividades de locação não interferiam no andamento dos trabalhos, porém as atividades de conferência topográfica e de laboratório acabavam atrasando um pouco os serviços, principalmente pela utilização de métodos antigos e defasados para estes procedimentos.

No caso de os contratos serem remunerados por extensão de estrada totalmente finalizada, o entrevistado diz ser fundamental ter as instalações industriais operando para iniciar as obras. Na programação, buscaria iniciar nos locais com menos serviços a realizar até a finalização, sem obras de drenagem. Conclui que seria necessário executar segmentos pequenos, porém os equipamentos são grandes e dificultaria o seu uso. Lembra que talvez fosse necessário desenvolver equipes flexíveis¹, situação observada por ele diversas vezes quando trabalhava em obras semelhantes em Portugal.

4.1.5 Lote 6 – Consórcio Pelotense – CC

O Lote 6 foi executado pelo Consórcio Pelotense - CC, sob o comando do engenheiro E4. A extensão do Lote é de 24,99 km e recebeu a Ordem de Início em 09/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 28,2% do valor total do contrato.

A terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Dezembro de 2012, chegando a uma conclusão de 35,5% em Setembro de 2014, e a terraplenagem das camadas finais iniciou em Setembro de 2013, chegando a 6,9% de conclusão em Setembro de 2014. Em Junho de 2013 foi liberada a primeira jazida de solos.

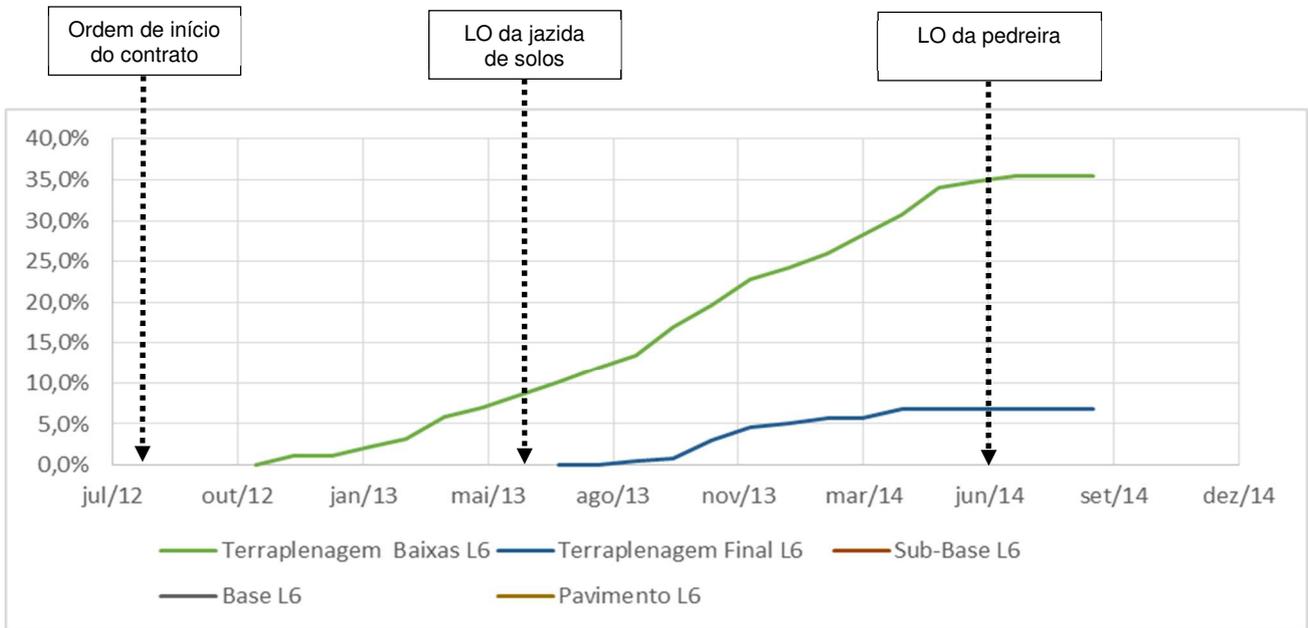
Os serviços de pavimentação não chegaram a ser iniciados. A liberação ambiental da pedra ocorreu em Julho de 2014 (Figura 23).

Na opinião do engenheiro E4, os principais motivos para o atraso das obras naquele período foram o atraso na liberação ambiental das jazidas de solo, da pedra e do canteiro de obras. As exigências do Ministério do Trabalho como equipamentos de proteção, condições de transporte, alimentação, áreas de vivências e banheiros químicos também causaram atrasos. Ressaltou um descompasso: os materiais inservíveis retirados da pista deveriam ser depositados nas jazidas para a recuperação ambiental, porém, o uso das jazidas é posterior à retirada destes materiais, obrigando a criação de depósitos de materiais inadequados, que acabou interferindo na logística de todo o trecho. O motivo apontado para o atraso no início dos trabalhos de pavimentação foi o prazo para instalação da unidade industrial e

¹ Equipes flexíveis referem-se à utilização de equipamento que dispões de uma variedade de dispositivos e implementos que permitem o seu uso em diferentes tipos de serviços.

liberação ambiental da pedreira. Foi licenciada uma nova área de britagem e usina para os serviços de pavimentação.

Figura 23 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 6



Fonte: Elaborado pelo Autor

O entrevistado afirmou que foi elaborado um planejamento inicial, que priorizou as áreas rurais, pois as travessias urbanas possuíam várias restrições ligadas a desapropriações, porém não detalhou como era este plano. O caminho crítico era a terraplenagem. O local do início dos serviços de terraplenagem foi determinado pela disponibilidade de materiais de compensação de corte e aterro, pois não haviam jazidas liberadas.

Sobre o planejamento de curto prazo, disse que ele tomava todas as decisões sobre o andamento das obras e comunicava os encarregados. Como ele mostrou não utilizar ferramentas computacionais e ser avesso a formalidades, não ficou claro se havia uma metodologia estruturada de planejamento. As metas e controles da produção tinham as mesmas unidades da planilha contratual, geralmente expressas em m³ ou toneladas. O tamanho dos lotes era definido por ele e pelo encarregado. Como havia uma grande incidência de solos moles no trecho, a terraplenagem inicial era feita com um trator empurrando o material para cima do banhado, até chegar ao final daquele aterro. Portanto o tamanho do lote era esticado até o final daquele aterro.

Não foi constatado pelo entrevistado que as atividades de marcação e controle interferiam no andamento dos trabalhos, pois haviam equipes acompanhando toda a execução.

O entrevistado disse ser muito arriscado executar uma obra rodoviária nestes moldes devido às várias incertezas externas envolvidas em um projeto deste porte. O engenheiro entende que, operacionalmente, não há nada que poderia ser feito para reduzir o tempo de entrega.

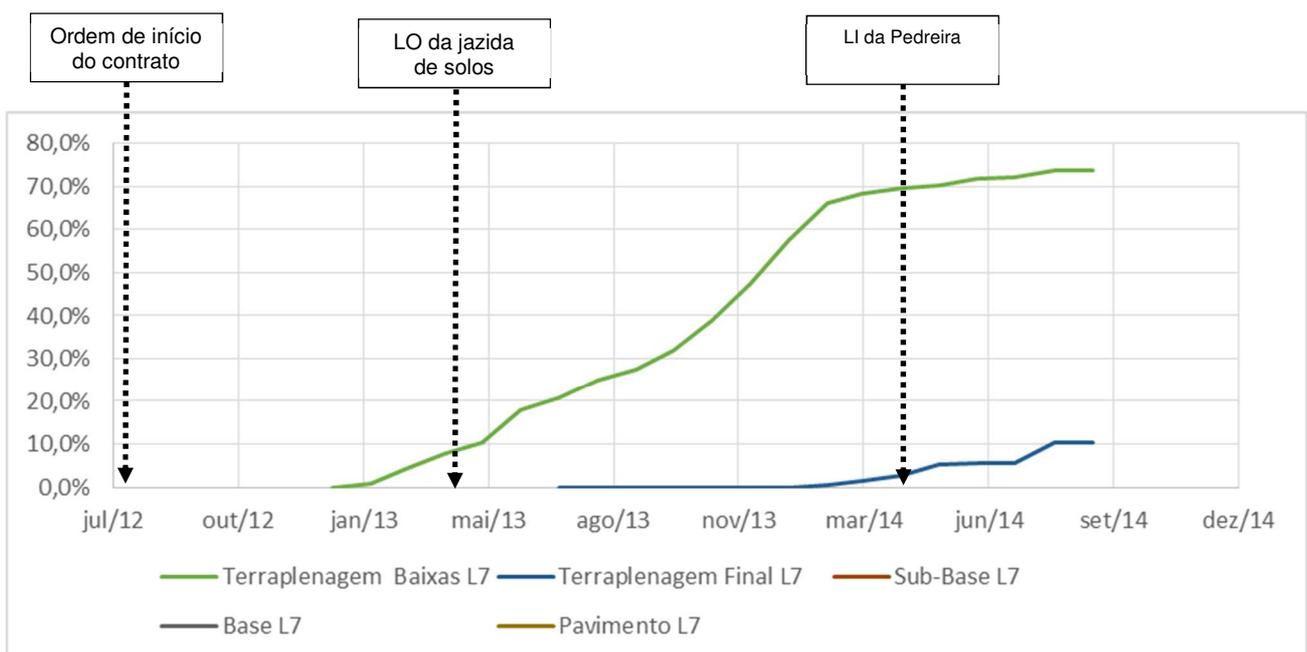
4.1.6 Lote 7 – Sultepa Construções e Comércio

O Lote 7 foi executado pela Construtora Sultepa. A extensão do Lote é de 21,6 km e recebeu a Ordem de Início em 13/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 40,3% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Fevereiro de 2013, alcançando 73,9% de conclusão em Setembro de 2014, e a terraplenagem das camadas finais iniciou em Fevereiro de 2014, chegando a 10,5% de conclusão em Setembro de 2014. Em Abril de 2013 foi liberada a primeira jazida de solos.

Os serviços de pavimentação não chegaram a ser iniciados. A licença ambiental de instalação da pedra ocorreu em Abril de 2014 (Figura 24).

Figura 24 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 7



Fonte: Elaborado pelo Autor

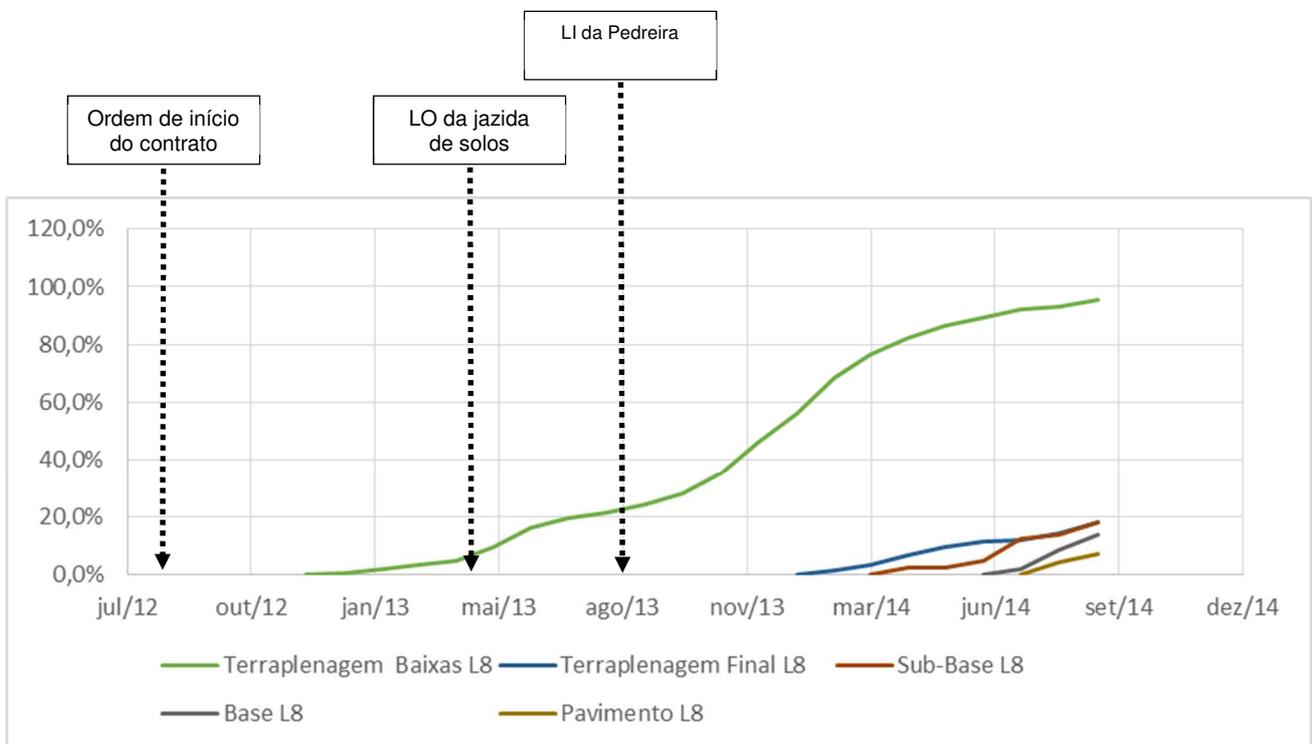
4.1.7 Lote 8 – SBS Engenharia e Construções

O Lote 8 foi executado pela empresa SBS Engenharia e Construções, sob o comando do engenheiro E5. A extensão do Lote é de 18,9 km e recebeu a Ordem de Início em 13/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 53,2% do valor total do contrato.

A terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Janeiro de 2013, chegando a 95,3% de conclusão em Setembro de 2014, e das camadas finais iniciou em Fevereiro de 2014, atingindo 18,1% de conclusão em Setembro de 2014. A primeira jazida de solos foi liberada em Abril de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Abril de 2014 e alcançou 17,9% de conclusão em Setembro. Já a base iniciou em Julho de 2014 e alcançou 13,7% de conclusão em Setembro. A execução de pavimento iniciou em Agosto de 2014 e alcançou 6,8% da quantidade prevista em Setembro. A licença ambiental de instalação da pedreira ocorreu em Agosto de 2013 (Figura 25).

Figura 25 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 8



Fonte: Elaborado pelo Autor

No entendimento do engenheiro E5, os principais motivos para o atraso das obras foram o projeto defasado, que acabou demandando várias alterações, tomando tempo e gerando atrasos. A demora na disponibilidade das jazidas também impactou, principalmente pela discordância de proprietários das áreas indicadas. Adicionalmente, citou as desapropriações como um motivo de descontinuidade dos serviços. O motivo apontado para o atraso no início dos trabalhos de pavimentação foi o prazo para instalação da unidade industrial e a liberação ambiental da pedreira. Para a execução dos serviços de pavimentação, foi instalada uma unidade de britagem e de usina de asfalto em uma área nova.

O entrevistado afirmou que foi elaborado um planejamento de toda a obra, baseado no prazo e nas unidades de serviço conforme o contrato. A cada ano é feito o planejamento, atualizado semestral ou trimestralmente com as modificações ocorridas. No primeiro mês de obra efetiva o planejamento foi revisado e detalhado. A localização dos serviços era levada em consideração em um nível mais abrangente, focando na sequência de utilização das jazidas. O caminho crítico identificado abrangia os serviços de terraplenagem e o local do início dos serviços de terraplenagem foi determinado pela disponibilidade de materiais, como jazidas ou compensação de corte e aterro.

O controle de produção era diário, com avaliações semanais e mensais das quantidades previstas versus realizadas, sempre baseados nas unidades de serviço conforme planilhas contratuais, geralmente expressas em m³ ou toneladas. Um planejamento formal de curto prazo não foi detalhado, mas sugere que decisões eram tomadas nos momentos de avaliação semanal. O tamanho dos lotes era definido pelo engenheiro e encarregado. De forma geral, no verão se abria o máximo possível, dentro do que estava liberado, e no inverno muito menos, ou nem se trabalhava com terraplenagem.

As atividades de marcação e controle realizadas pela empresa não interferiam no andamento dos trabalhos, porém as atividades de conferência a cargo da empresa supervisora acabavam impactando pois eram realizadas somente no turno de dia, enquanto que a empreiteira estava trabalhando em dois turnos.

No caso de os contratos serem remunerados por extensão de estrada totalmente finalizada, o entrevistado diz que só iniciaria a obra após ter as instalações industriais operando e desapropriações realizadas. Na programação, buscaria iniciar nos locais onde a solução de projeto estivesse correta.

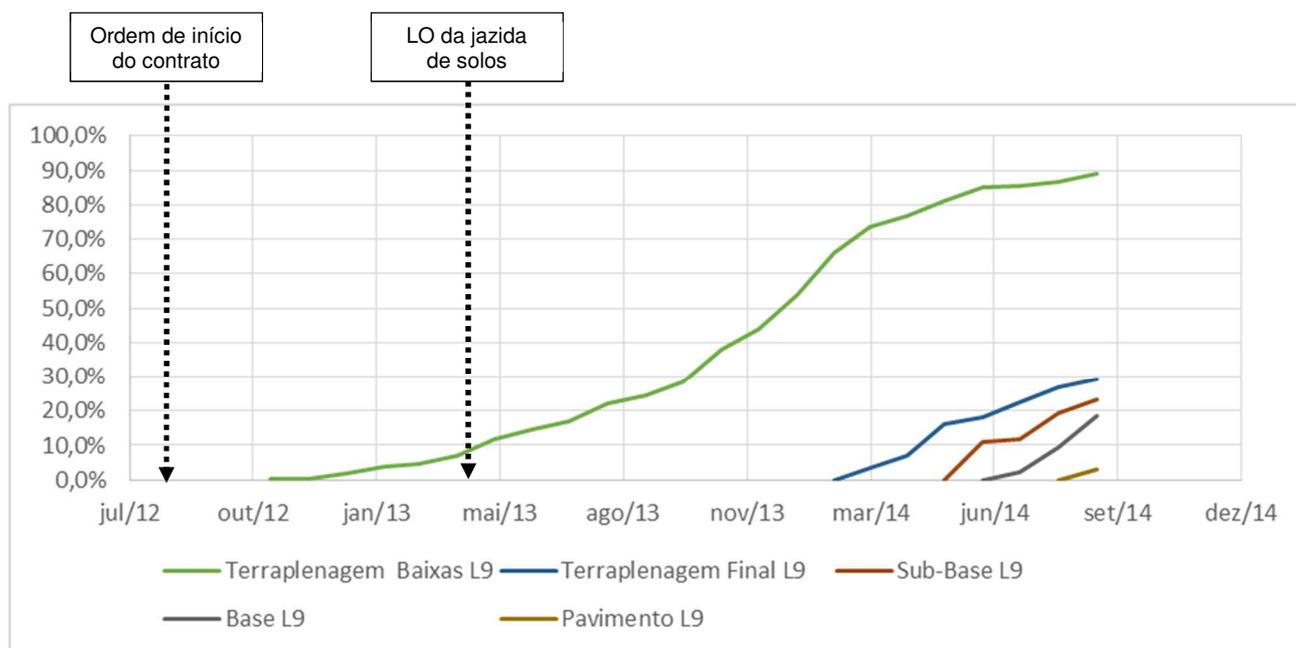
4.1.8 Lote 9 – Consórcio MAC - Tardelli

O Lote 9 foi executado pelo Consórcio MAC - Tardelli, sob o comando do engenheiro E6. A extensão do Lote é de 22,76 km e recebeu a Ordem de Início em 13/08/2012. Até Setembro de 2014, já haviam sido consumidos 55% do valor total do contrato.

O serviço de terraplenagem das camadas inferiores iniciou em Novembro de 2012, chegando a 89% de conclusão em Setembro de 2014, a terraplenagem das camadas finais iniciou em Março de 2014, chegando a 29,2% de conclusão em Setembro de 2014. A primeira jazida de solos foi liberada em Abril de 2013.

O serviço de sub-base iniciou em Junho de 2014 e alcançou 23,4% de conclusão em Setembro, enquanto que a base iniciou em Julho de 2014 e alcançou 18,7% de conclusão em Setembro. A execução de pavimento iniciou em Setembro de 2014 e alcançou 3% da quantidade prevista em Setembro. A pedra utilizada pelo consórcio já estava em operação no início da obra (Figura 26).

Figura 26 – Gráfico de evolução dos serviços do Lote 9



Fonte: Elaborado pelo Autor

A demora no licenciamento das jazidas de material para a terraplenagem foi apontado como o principal motivo para o atraso das obras naquele período. A liberação da primeira jazida ocorreu 8 meses depois da ordem de início, em Abril de

2013, impedindo a sua utilização plena nos primeiros meses de inverno. Outro fator apontado foram as desapropriações, pois geraram muita descontinuidade nos serviços. O atraso das camadas finais de terraplenagem se deram pela necessidade de liberar maiores extensões de um serviço para passar para o próximo, evitando mobilizações de equipamentos para a execução de segmentos pequenos. O consórcio já possuía uma instalação de britagem e usina de asfalto em operação no início da obra, para a utilização nos serviços de pavimentação.

O entrevistado afirmou que foi elaborado um planejamento de toda a obra, levantando as principais interferências que necessitavam ser resolvidas. Neste plano constava a localização dos serviços, e o caminho crítico identificado foi a terraplenagem. Os locais planejados para iniciar os serviços de terraplenagem eram perto das jazidas.

A programação de curto prazo era feita através de uma programação semanal e reuniões diárias com a equipe. O acompanhamento e controle era feito diariamente, comparando-se a quantidades de serviços previstos versus realizados, nas unidades da planilha contratual, como toneladas ou m³. O entrevistado afirmou que o tamanho das canchas era definido pelo encarregado de obras e o engenheiro de produção. A orientação era para a execução de canchas curtas, que pudessem ser finalizadas no mesmo dia.

As atividades de marcação e controle de qualidade não interferiam no andamento dos trabalhos, e havia uma orientação clara que estas atividades não poderiam atrasar os outros serviços.

No caso de os contratos serem remunerados por extensão de estrada totalmente finalizada, os serviços só deveriam ser iniciados quando todas as interferências estivessem solucionadas. No tocante à programação, disse que teria que dimensionar trechos que não fossem muito pequenos, com no mínimo 1 a 2 quilômetros para ter continuidade e evitar constantes mobilizações de equipamentos. Sugeriu aumentar equipes de terraplenagem, que na sua opinião é o mais demorado.

4.2 Análise dos Eixos de Estudo

Esta metodologia consiste em organizar as informações coletadas sobre cada eixo de estudo, procurando identificar o modelo utilizado e o resultado obtido em cada Lote.

4.2.1 Restrições/Motivadores Externos

A principal restrição apontada por todos os entrevistados em todos os Lotes de obra foi o prazo para a liberação ambiental das jazidas de solo. Os prazos para a liberação ambiental da primeira jazida de solos de cada contrato estão relacionados na Tabela 6. Esta afirmação é confirmada nos gráficos de andamento dos serviços, que mostram uma grande evolução nos serviços de terraplenagem após a concessão das licenças ambientais das jazidas. Além da demora para o licenciamento, foi identificado, no Lote 8, atrasos para obter a concordância dos proprietários das áreas de jazidas.

Tabela 6 – Prazos para a emissão da primeira Licença Ambiental de jazida (meses)

Lote de Obra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo entre a Ordem de Início dos Serviços do Lote e a emissão da primeira Licença de Operação de jazidas de solos (meses)	6	8	5	11	10	10	8	8	8

Fonte: Medições DNIT

Outro fato apontado como gerador de atrasos nos Lotes de obra 1, 2, 6 e 8 foi a defasagem das soluções do projeto em relação à realidade da obra. O principal exemplo dado foi a não previsão de substituição de materiais inservíveis, sendo necessário fazer um estudo e aprovar alterações já no início da execução dos contratos.

Problemas com atrasos na desapropriação de áreas na obra foram citados nos Lotes de obra 1, 2, 8 e 9 como motivo para descontinuidade dos trabalhos. Porém, com impacto menor pois tratava-se de pontos isolados no trecho.

Nos Lotes 3 e 6 foi comentada a dificuldade em atender às exigências envolvendo os diversos atores que fiscalizavam a obra.

Todos os Lotes apresentaram um lapso temporal muito longo entre os serviços de terraplenagem e pavimentação. Sobre isto, os responsáveis pelos Lotes 1, 2 e 5 apontaram a demora no licenciamento das jazidas de solo, principalmente para as camadas finais, como o motivo do atraso no início da pavimentação. No Lote 5 também foi citada a política da empresa para a mobilização de novas equipes. Nos Lotes 3 e 8 foi apontado o atraso no licenciamento das instalações industriais. Já o responsável pelo Lote 9 apontou que esta demora deveu-se à necessidade de liberar maiores extensões de um serviço para passar para o próximo serviço, evitando mobilizações de equipamentos para a execução de segmentos pequenos.

Nos Lotes 5 e 9, os consórcios possuíam instalações industriais com britagens e usinas de asfalto em operação que poderiam ser utilizadas imediatamente nas obras. A Tabela 7 apresenta as restrições apontadas por cada entrevistado.

Tabela 7 – Principais restrições apontadas pelos entrevistados

Restrição	Lote de Obra	1 e 2	3	5	6	8	9
	Entrevistado	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Atraso no licenciamento ambiental de jazidas		X	X	X	X	X	X
Deficiências em projetos		X			X	X	
Desapropriações		X				X	X
Excesso de órgão de controle			X		X		
Atraso no licenciamento ambiental das instalações industriais			X			X	

Fonte: Medições DNIT

4.2.2 Planejamento de Longo Prazo

Foi identificada a realização de um planejamento de longo prazo em todos os Lotes entrevistados. Todos eles se baseavam nos itens, unidades e quantidades das planilhas contratuais. Nos Lotes 1, 2, 3, 8 e 9 o planejamento abordava uma ordem de ataque relacionada com a extensão da obra, permitindo localizar os serviços no tempo. Com exceção do Lote 3, onde a obra começou no início em direção ao final do trecho, todos os Lotes iniciaram nas áreas com disponibilidade de materiais (locais

com compensação entre cortes e aterros ou perto de jazidas já liberadas) e fora de áreas urbanas, com outras restrições como desapropriações.

Os entrevistados, de maneira geral, não conheciam o conceito de caminho crítico, e ficaram em dúvida para responder. Nos planos de projetos contínuos, este caminho não fica tão explícito quanto nos planos de redes de atividades. Então, para simplificar, era perguntado qual a atividade mais longa. A atividade mais longa apontada por todos os entrevistados foi a terraplenagem, com exceção do Lote 5, onde foram apontadas as atividades de pavimentação. Esta afirmativa é curiosa, pois praticamente todos os Lotes concluíram a terraplenagem de seu contrato em prazos ao redor de um ano, inferindo que o prazo total da obra não deveria ser muito maior.

Para apurar com mais exatidão o prazo de execução de cada atividade, a Tabela 8 apresenta os ritmos de produção dos principais serviços em cada contrato.

Tabela 8 – Dados do andamento das obras de duplicação da BR-116

Lote de Obra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TERRAPLENAGEM									
Taxa média de evolução da terraplenagem	6,1%	10,8%	8,3%	8,8%	11,1%	2,5%	4,3%	6,7%	5,7%
Prazo estimado para conclusão (meses)	16,4	9,3	12,1	11,4	9	40	23,2	15	17,6
SUB – BASE									
Taxa média de evolução da terraplenagem	8,6%	13,5%	7,1%	1,1%	5,1%	Não Iniciou	Não Iniciou	3,5%	7,6%
Prazo estimado para conclusão (meses)	11,6	7,4	14,2	91,1	19,8	-	-	28,7	7,6
BASE									
Taxa média de evolução da terraplenagem	13,3%	22,3%	5,5%	Não Iniciou	6,1%	Não Iniciou	Não Iniciou	6,6%	9%
Prazo estimado para conclusão (meses)	7,5	4,5	18	-	16,4	-	-	15,1	11,1
Atividade Crítica apontada pelo entrevistado	Terraplenagem	Terraplenagem	Terraplenagem	Não entrevistado	Base e Sub-Base	Terraplenagem	Não entrevistado	Terraplenagem	Terraplenagem
Atividade mais longa (Calculado)	Terraplenagem	Terraplenagem	Base	Sub-Base	Sub-Base	-	-	Sub-Base	Terraplenagem

Fonte: Calculada a partir das medições fornecidas pelo DNIT/RS

Estes dados permitem concluir que os prazos realizados ou estimados de todos os serviços são semelhantes, não sendo clara a identificação do caminho crítico. Neste caso, o atraso para o início das atividades posteriores à terraplenagem é ainda mais prejudicial, pois pode estar atrasando o início da atividade crítica.

4.2.3 Programação de Curto Prazo

A sistemáticas de programação de curto prazo relatadas possuíam diversas configurações. Nos Lotes 1 e 2, o plano de curto prazo era realizado mensalmente, com a atualização dos saldos que eram jogados para frente. Nos Lotes 5, 8 e 9, o planejamento de curto prazo era realizado semanalmente. No Lote 9 eram realizadas reuniões diárias para definição e acompanhamento dos serviços. Em todos estes Lotes o controle da produção é diário, através de quantidades nas mesmas unidades da planilha contratual. Nos Lotes 3 e 6 as decisões sobre a programação eram tomadas pelo engenheiro e repassadas diretamente aos encarregados, sem uma periodicidade definida. Não foi possível identificar o ciclo de controle da produção do Lote 6, porém foi afirmado que era baseado em quantidades nas unidades contratuais.

Sobre os indicadores e suas unidades de controle, é crucial destacar o descompasso existente entre as unidades de medida utilizadas para fazer o pagamento dos serviços executados (metro cúbico ou toneladas) e as métricas relacionadas ao produto concluído e entregue (metro linear de rodovia). Este fato desvia todo o esforço no sentido de executar grandes volumes, sem nenhum compromisso com a entrega do produto concluído.

Ao serem indagados sobre o tamanho dos lotes de execução, somente o engenheiro E3, do Lote 5 apresentou uma sistemática objetiva para o tamanho das canchas terraplenagem, definidas pela engenharia da obra: 400 metros lineares para camadas inferiores e 200 metros lineares para camadas superiores. Para iniciar um novo serviço, como sub-base ou base, era necessário haver ao menos 2 km de extensão do serviço anterior concluída. Nos Lotes 1 e 2, o engenheiro apontou que esta era uma função do encarregado, mas que não seria saudável ter “canchas” muito extensas, maiores que 5 ou 6 km, porém como sempre haviam muitos entraves, na prática a cancha se estendia “até onde dava”. No Lote 6 as camadas inferiores eram executadas como ponta de aterro, quando o material é empurrado por um trator sobre solos intransitáveis, até finalizar a extensão daquele aterro. No Lote 8 a orientação

era estender o máximo possível no verão, e executar segmentos pequenos no inverno. No Lote 9, a extensão deveria permitir concluir a camada até o final do dia. Nos Lotes 5, 6, 8 e 9 o engenheiro juntamente com o encarregado determinam as extensões e localizações das canchas.

4.2.4 Preparação e Controle de Qualidade

Este eixo procura apurar as implicações dos *set-ups* e das inspeções no dia a dia das obras rodoviárias. Nos Lotes 1, 2, 6 e 9 não foram constatados atrasos decorrentes das atividades de locação e controle. No Lote 5 foi relatado atraso para a execução dos controles de topografia e de laboratório de solos, mas não para as locações. No Lote 8 foi relatado atraso nas equipes noturnas, pois não havia pessoal da empresa supervisora para acompanhar os serviços.

Sobre as preparações, a única citação se refere à mobilização da equipe para o projeto. Esta citação ocorreu nos Lotes 3, 5 e 9.

A Tabela 9 resume as principais evidências relativas a cada eixo e cada entrevista.

Tabela 9 – Resumo das evidências lote x eixo de análise

Eixo	Pergunta	Lotes 1 e 2	Lote 3	Lote 5	Lote 6	Lote 8	Lote 9
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
Restrições / Motivadores Externos	Motivos dos atrasos	Projetos licitados com deficiências, licenciamentos de jazidas e desapropriações.	Excesso de atores fiscalizando a obra (fiscalização DNIT, supervisão, Ibama, Iphan, Ministério do Trabalho, Auditoria Interna do DNIT, Controladoria Geral da União e TCU), atraso na liberação ambiental das jazidas. Desapropriações não atrasaram.	Liberação de jazidas, em especial com materiais para camadas finais. Não teve problema de desapropriações naquele Lote.	Fiscalização rigorosa de órgãos ambientais e do Ministério do Trabalho. Liberação de jazidas. Projetos deficientes não previa substituição de solos inadequados.	Projetos antigos e desatualizados. Problemas com jazidas, com proprietários e demora no licenciamento. Desapropriações.	Licenciamento das jazidas Desapropriações.
	Motivo de atraso da pavimentação	Atraso na liberação da jazida para as camadas finais.	Espera para finalizar as atividades anteriores, como limpeza e desmatamento e prazos para a liberação da licença da pedreira e instalação do britador	Atraso na liberação da jazida para as camadas finais. Política da empresa: só iniciava nova atividade com 2 km de frente de serviço (Lote de transferência).	Licença da jazida de pedra para instalação do britador.	Instalação de pedreira, liberação de jazida mineral, instalação da britagem.	Terminar um segmento considerável antes de iniciar outro, pois são equipamentos diferentes.
	Pedreira utilizada	Instalou uma pedreira nova.	Instalou uma pedreira nova.	Usou pedreira já licenciada e instalada.	Instalou uma pedreira nova.	Instalou uma pedreira nova.	Usou pedreira já licenciada e instalada.
Planejamento de Longo	Planejamento de longo prazo	Planejamento de toda a obra com quantidades mensais. Com ordem de ataque. Foi desfigurado e desatualizado.	Planejamento de toda a obra com quantidades mensais, revisado a cada 6 meses. Com localização dos serviços.	Planejamento de toda a obra com quantidades mensais, baseado na meta de valor. Buscou antecipar drenagens. Em	Diz que foi feito um planejamento. Não mostrou segurança.	Planejamento de toda a obra com quantidades mensais, com revisão anual, semestral ou trimestral. Utilizava	Planejamento de toda a obra com quantidades mensais. Levantavam-se as interferências que poderiam ocorrer.

Eixo	Pergunta	Lotes 1 e 2	Lote 3	Lote 5	Lote 6	Lote 8	Lote 9
		E1	E2	E3	E4	E5	E6
				Excel. Revisão mensal.		a localização no planejamento.	Identificava a sequência de ataque.
	Caminho crítico	Terraplenagem	Terraplenagem	Sub-base e Base	Terraplenagem	Terraplenagem	Terraplenagem
	Local de início da obra no planejamento	Fora da área urbana. Locais com bastante corte ou com compensação.	No início do trecho em direção ao final, em sequência, por escolha particular.	Terraplenagem começou perto da jazida liberada.	Iniciou nos locais com compensações entre cortes e aterros.	Ponto de início onde tinha mais facilidade de liberar jazida ou onde tinha um corte com aproveitamento.	Serviços iniciaram junto às jazidas de solos.
Programação de Curto Prazo	Planejamento de curto prazo	Mensal, visando dois meses adiante. Acompanhamento diário. Atualização dos saldos dos quantitativos e reprogramação.	A revisão das estratégias era mensal, através de relatórios, sem reunião. Sobre as decisões da rotina do dia a dia não havia uma rotina.	Planejamento de curto prazo semanal com reunião, sexta feira pela manhã. Com controle diário, pelas quantidades do contrato.	O entrevistado era o responsável pelas decisões do dia a dia, que eram comunicadas aos encarregados.	Controle diário, por quantitativo e unidade do contrato. Planejamento de curto prazo com reunião semanal.	Reunião com acompanhamento diário e uma reprogramação semanal. Na unidade do contrato.
	Tamanho dos lotes de trabalho	2 a 3 km. Não é recomendável mais de 5 ou 6 km. Como sempre há vários problemas, quando tem frente abre-se o máximo que der.	Decidido pelo encarregado. Comentou que seriam algumas centenas de metros. Cada trecho tinha uma extensão diferente, que dependia de vários fatores, como disponibilidade de material e clima. Quando havia frente liberada e o tempo estava bom, estacava a cancha o máximo possível.	Camadas baixas de aterro 400 ml, camadas finais 200 ml. Quantidade para finalizar no dia. Regras do engenheiro.	Executada como ponta de aterro, se desenvolvia horizontalmente até terminar a extensão do aterro.	Engenheiro do contrato com encarregado decidiam. Abrir o máximo no verão. Pouco no inverno.	Encarregado e engenheiro de produção definiam o tamanho das canchas. Comprimento que permita deixar finalizado até o final do dia.
	Unidades das metas	Unidades do contrato	Unidades do contrato	Unidades do contrato	Unidades do contrato	Unidades do contrato	Unidades do contrato
Preparação e Controle de Qualidade	Atrasos motivados pelas preparações e inspeções	Não atrasou as atividades.	Não atrasou as atividades.	Locação não atrasa, mas ensaios e conferência sim.	Não atrasou as atividades.	Locação e laboratório próprios não causava atraso, porém tinha atraso com a fiscalização.	Atividades de locação e controle de qualidade raramente atrasavam a produção.
Sugestão para a Redução do Tempo de Atravessamento	Sugestão em contrato com medição por extensão finalizada	Iniciar somente com licenciamentos e desapropriações concluídas. Iniciar nas menores densidades de terraplenagem.	Acredita que desta forma seria improdutivo e o prazo total da obra seria maior.	Iniciar somente com licenciamentos e desapropriações concluídas. Iniciar em aterros menores, sem drenagens. Equipes multifuncionais, equipamentos flexíveis, a exemplo de Portugal (experiência anterior).	Não mudaria nada.	Iniciar somente com instalação de britagem concluída e problemas de contrato resolvidos. Locais sem desapropriação e divergências entre projeto e realidade.	Iniciar somente com licenciamentos e desapropriações concluídas. Não pode fazer trechos muito pequenos. Pelo menos 1 km, ou 2 km.

Fonte: Elaborado pelo Autor

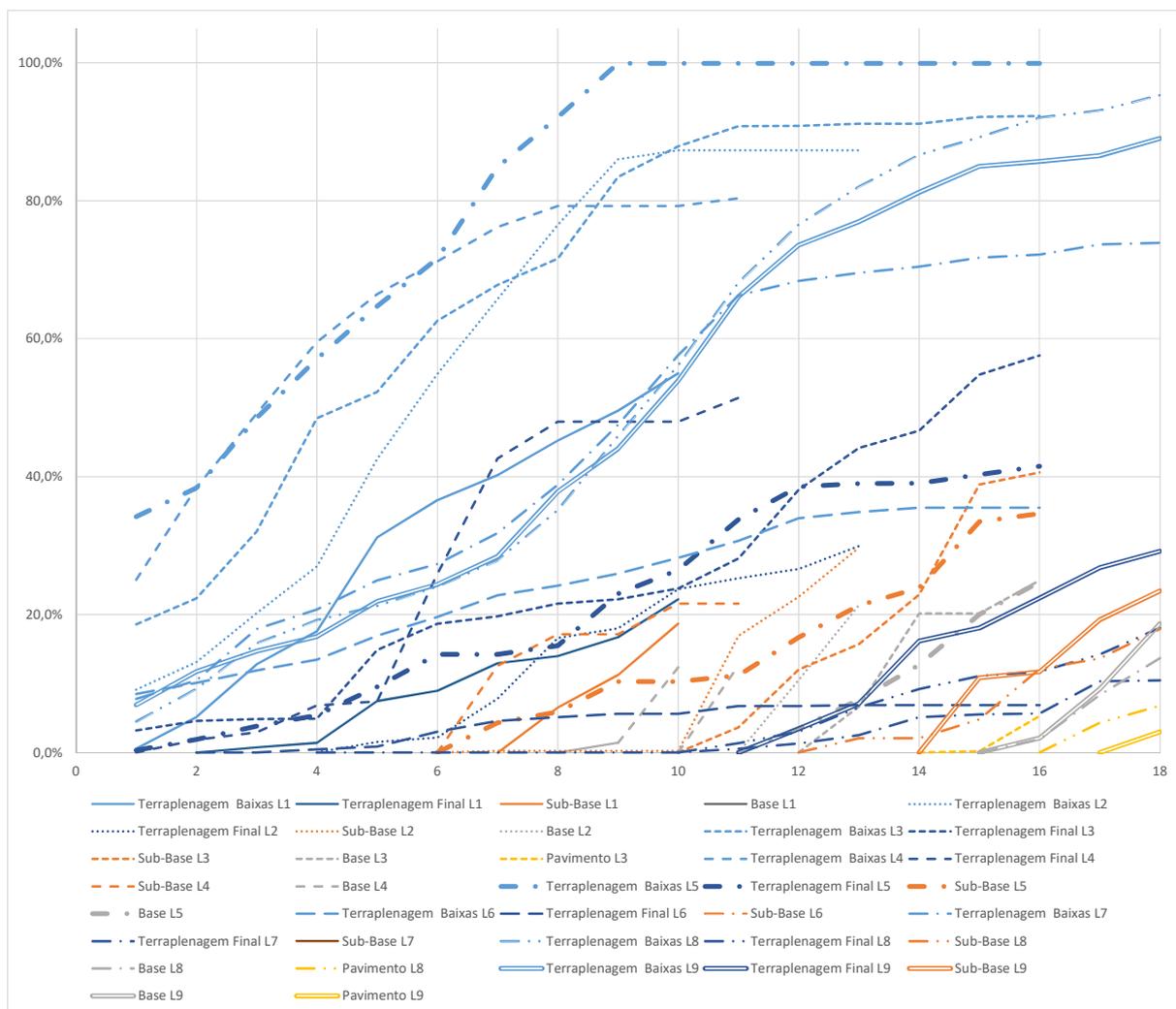
4.3 Discussão dos Resultados

As evidências permitem concluir que existem vários fatores externos que provocaram atrasos na execução das obras da BR-116. O principal motivo apontado para o atraso foi o prazo de liberação ambiental de jazidas de materiais para terraplenagem. Os gráficos de andamento das obras corroboram com este entendimento quando mostram uma aceleração no ritmo da terraplenagem logo após a liberação ambiental das jazidas de solo, alcançando taxas que estariam condizentes com o prazo do contrato, com exceção dos Lotes 6 e 7, que apresentaram ritmos muito aquém do necessário para a conclusão da obra dentro do prazo contratual.

Além deste atraso inicial, verificou-se um retardamento muito grande para o início dos serviços de pavimentação, como sub-base, base e pavimento asfáltico em todos os Lotes (Figura 27). O principal motivo apontado foi o atraso na obtenção das licenças ambientais das jazidas de solo para as últimas camadas de terraplenagem, e da pedreira para as camadas com rocha. Esta informação é confirmada pela aceleração dos serviços de sub-base e base logo após as liberações ambientais das pedreiras nos Lotes 1, 2, 3, 4 e 8. Os Lotes 6 e 7, que apresentaram ritmo insuficiente desde o início dos contratos, nem chegaram a iniciar os serviços de sub-base ou base.

Os Lotes 5 e 9 já possuíam instalações de britagem em operação no início da obra. Portanto, tinham todas condições de, a partir da liberação da jazida de solos, garantir ou até reduzir o prazo de conclusão previsto no contrato. A evolução destes dois Lotes, porém, seguiu o padrão dos outros, com um grande atraso no início dos serviços posteriores à terraplenagem. O Lote 5 iniciou a sub-base 7 meses após a liberação da jazida de solo, quando a terraplenagem das camadas baixas já alcançava 85% de conclusão, mesmo tendo brita à disposição. É preciso lembrar que este Lote de obra utilizou uma jazida comercial desde o início do contrato, tanto que quando a primeira jazida de solos foi liberada, 26% da terraplenagem das camadas baixas já havia sido executada. O Lote 9 demorou 14 meses para iniciar a sub-base depois da liberação ambiental da jazida de solos, quando a terraplenagem das camadas inferiores também alcançava 85% de execução. Isto contradiz a justificativa de que o início dos serviços de pavimentação atrasaram devido à demora na liberação ambiental das jazidas de solo para as camadas finais de terraplenagem ou de pedra para as camadas de pavimentação.

Figura 27 – Gráfico de evolução dos serviços de todos os Lotes



O gráfico da figura 27 mostra a evolução das atividades de todos os Lotes de obras, a partir do mês de emissão da primeira licença ambiental de jazida de solos. Observa-se que todos os lotes demoram para iniciar a atividade de sub-base, independentemente de possuir jazida de solos ou de pedra licenciada, além de uma relação robusta entre a evolução da execução da terraplenagem e o início da sub-base (Tabela 10).

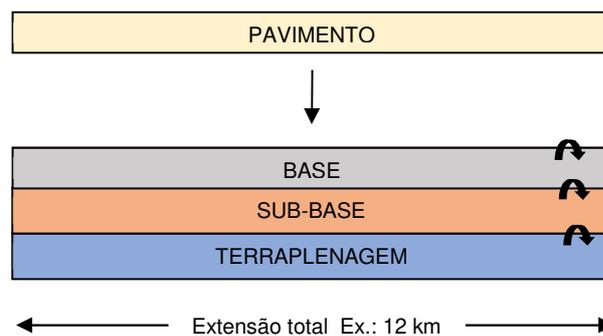
Tabela 10 – Relação da conclusão da terraplenagem com o início da sub-base

Lote de Obra	1	2	3	4	5	8	9
% Terraplenagem concluída no início da sub-base	45,2%	87,3%	90,8%	76,2%	84,9%	82,0%	85,0%

Fonte: Medições DNIT

Estas informações mostram que este atraso está ligado à espera do processo, pois há camadas de terraplenagem sendo concluídas, porém a transferência para as camadas das atividades de pavimentação (Sub-Base, Base e Pavimento) ocorre somente quando praticamente todo o lote de processamento está concluído. A razão para este comportamento tem ligação com o paradigma de planejamento das atividades utilizado pelos gestores destas obras. Segundo Golldratt (2008), os projetos possuem tempo de toque longo, não menos do que um terço do *lead time*. Isto significa que cada atividade é considerada como um lote único em todo o projeto, explicitando a lógica de que um projeto tem sua entrega realizada somente após estar totalmente completo (Figura 28).

Figura 28 – Paradigma de execução de projeto



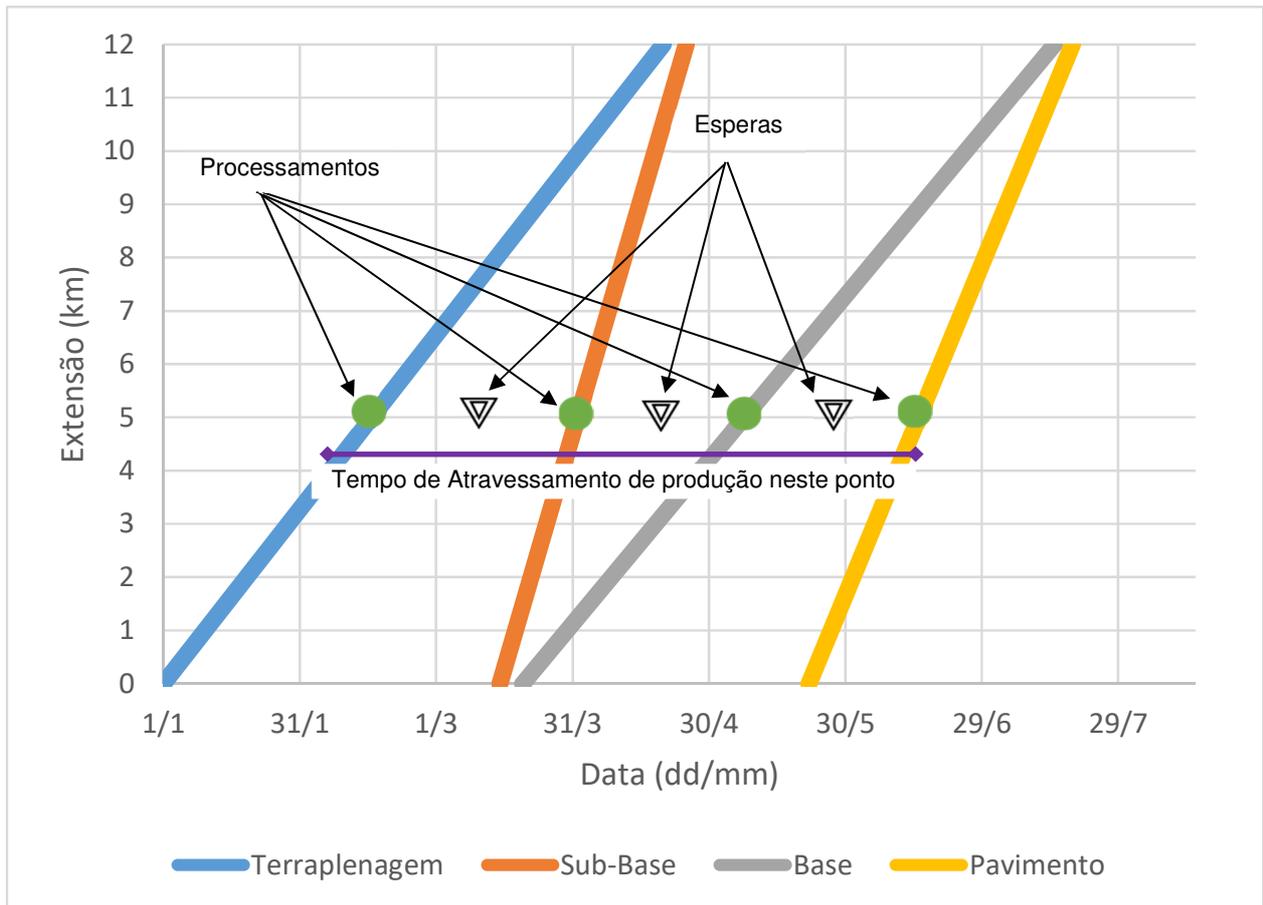
Fonte: Elaborado pelo autor

Os estudos apresentados no referencial teórico reforçam este paradigma a medida que cada atividade é programada de forma independente, buscando o melhor desempenho local. Como o custo está baseado no grau de utilização dos recursos, cada equipe é planejada de forma que, uma vez mobilizada, possa atingir sua produtividade máxima até concluir aquela atividade na obra.

No exemplo da Figura 29, a atividade de sub-base é mais produtiva do que a de terraplenagem. Para garantir que os recursos destas atividades trabalhem com máxima produtividade, a sub-base só poderá iniciar quando a terraplenagem concluir mais de 7 quilômetros, atrasando o início da atividade de base e criando esperas nos estoques em processo.

Figura 29 – Representações da programação visando melhor aproveitamento dos recursos

Id	Nome da tarefa	1º trimestre			2º trimestre			3º trimestre
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul
1	Terraplenagem	█			█			
2	Sub Base			█				
3	Base			█			█	
4	Pavimentação						█	



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas entrevistas foi possível apurar este comportamento, como a afirmação do engenheiro E3:

“A gente tinha alguns princípios, assim né. Eu só poderia entrar no macadame com dois quilômetros de terraplenagem pronto, eu só podia entrar na base com dois quilômetros de macadame pronto.”

O engenheiro E7 também corrobora com este pensamento:

“Porque tu não vai fazer um quilômetro, vai lá e já muda o teu...porque são equipamentos diferentes, né. Então se procurou trabalhar a terraplenagem 95 (camadas baixas) ali, até atingir um segmento considerável, aí depois as últimas camadas de terraplenagem, para atingir os 100%...porque não adianta tu fazer um quilômetro e daí trazer o equipamento para distribuir a

pedra, aí tu pára, desmobiliza, faz mais, daqui a pouco para mais dois, três meses.”

Além disto, foram constatadas nas entrevistas, exigências muito rígidas de metas e controles da produtividade de cada equipe mobilizada, em quantidades e volumes executados, independentemente da extensão de serviços concluídos. Não foi citada nenhuma sistemática de sincronização das diferentes atividades, ou até de marcos para iniciar as novas atividades que vão sendo liberadas. Pelo contrário, há uma resistência em fazer mobilizações de equipes sem a garantia de que elas terão “frentes de serviço” suficientes para continuarem operando “produtivamente”.

Já dentro de cada equipe, o desbalanceamento entre as capacidades de recursos influencia negativamente na criação de estoques entre as atividades. Os equipamentos responsáveis pelos processamentos (Escavação, Espalhamento e Compactação) envolvidos em cada tipo de camada (Terraplenagem, Sub-base, Base e Pavimento) possuem grande porte e diferentes capacidades. De forma geral, a compactação acaba se tornando o gargalo da equipe, pois só pode ser executada dentro de limites específicos de umidade do material, enquanto que a escavação e o espalhamento não possuem restrições técnicas consideráveis. Na prática, este comportamento empurra o material para a pista, fazendo com que o material chegue ao local de aplicação em volume maior que a capacidade de compactação, forçando o seu descarregamento e espalhamento em um trecho mais à frente. Ao terminar a compactação do lote anterior, os rolos passam automaticamente a compactar os trechos com material já espalhado à frente, antes de processar uma nova camada sobre a primeira, criando estoques de camadas não finalizadas. Portanto, não só o desbalanceamento entre as capacidades das atividades, mas a busca de ótimos locais nos processamentos não restritivos dentro de cada equipe acaba gerando estoque de atividades. Isto fica claro na fala do engenheiro E7:

“Tu vai botar uma equipe com uma escavadeira na jazida, aí dependendo da distância tu vai ter 10, 12 caminhões para aquela escavadeira, para a escavadeira produzir a pleno. A escavadeira é o carro chefe, o que ela consegue escavar ela tem que escavar.”

Este comportamento é exacerbado pelas diretrizes particulares da “Escola de Engenharia Civil”, como orienta o Manual de Implementação Básica de Rodovia publicado pelo DNIT (2010, p. 282):

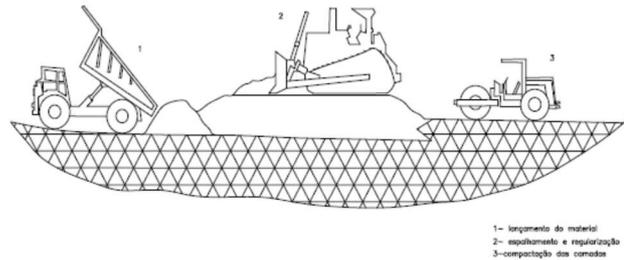
“Entretanto, algumas regras básicas devem ser obedecidas, visando-se o bom desenvolvimento e a qualidade dos serviços:

a) Uma vez processada a limpeza do terreno, os buracos ou depressões ocasionados por desmatamento/destocamento, devem ser preenchidos com material dos cortes ou empréstimos devidamente compactados;

b) Iniciar o aterro sempre no ponto mais baixo, em camadas horizontais;

c) Prever o caimento lateral ou longitudinal para o rápido escoamento das águas pluviais, evitando o seu acúmulo em qualquer ponto.

Figura 60 – Implantação de aterros



Por fim, os indicadores que envolvem todo o processo não estimulam a finalização de segmentos. As metas e controles das empresas para o gerenciamento das obras da BR-116 utilizavam unidades de medida de volume ou peso, sem qualquer relação com extensões de atividades concluídas. Da mesma forma, estas medidas também eram utilizadas para a remuneração do contrato. Não há qualquer distinção em valores pagos pelo DNIT para a execução de um volume de terraplenagem em camadas inferiores ou camadas finais. É natural que o empreiteiro priorize a execução de camadas inferiores, onde atinge-se níveis mais altos de produtividade.

O resultado prático deste modelo é similar ao constatado nas obras da BR-116. A finalização da terraplenagem (“Camadas finais”) só iniciou quando as camadas baixas estavam concluídas em praticamente toda a extensão do trecho, mesmo nos lotes onde havia disponibilidade de material para a sub-base ou base (Figura 30).

Figura 30 – Obra rodoviária executada por camadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Além de aumentar o tempo para a primeira entrega, o prazo total do projeto é incrementado, principalmente se a atividade mais longa não estiver entre as primeiras atividades. Isto porque ela demorará muitos longos ciclos para ser finalmente iniciada, prolongando todo o projeto.

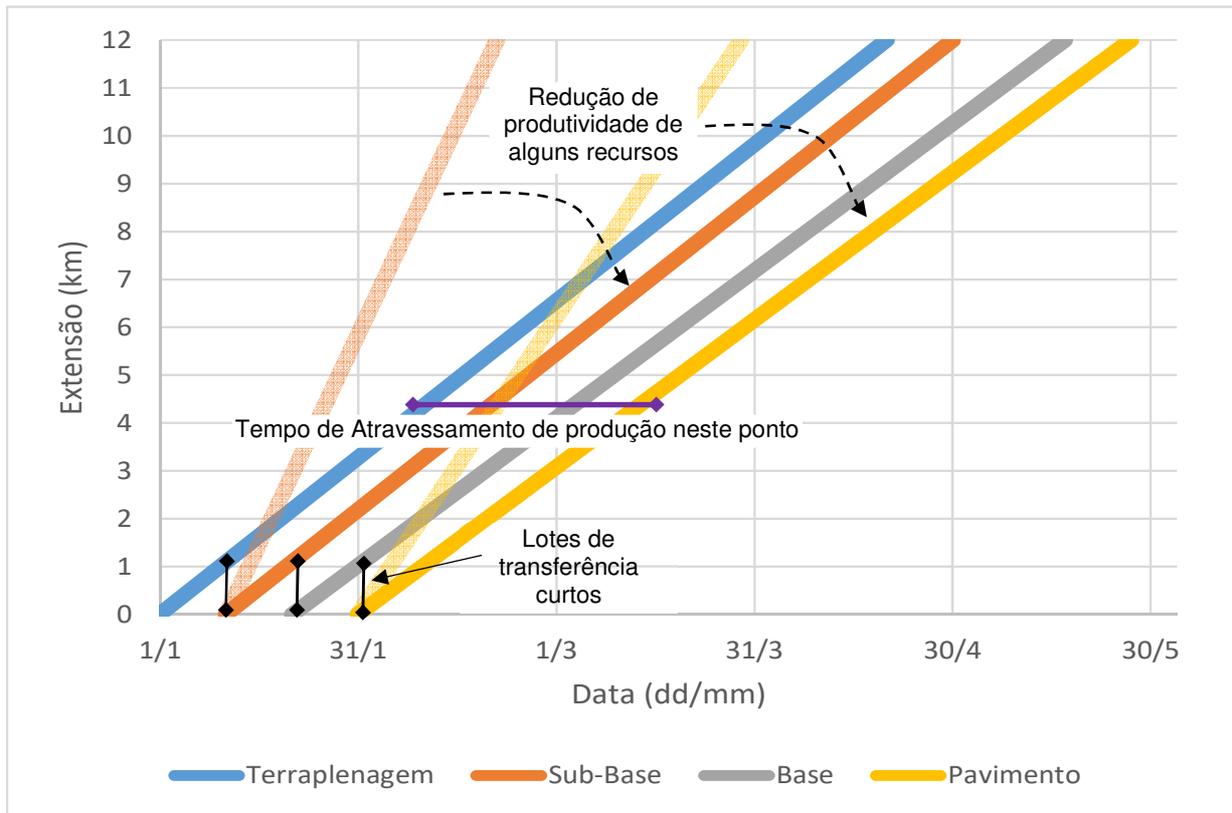
Resumindo, o presente estudo de caso identificou os seguintes achados:

- Interferências externas, principalmente ligadas aos licenciamentos ambientais, desatualização de projetos e atraso nos processos de desapropriações atrasaram o início efetivo das obras de duplicação da BR-116;
- Alguns engenheiros envolvidos nas obras da BR-116 não tinham clareza no conceito do caminho crítico nem na sua identificação;
- A sistemática de programação de recursos utilizou metas de produtividade de cada atividade isoladamente, evitando subutilização e a remobilizações de equipes;
- Os entrevistados, de forma geral, utilizavam lotes de trabalho e de transferência com grandes extensões, aumentando o tempo de atravessamento das obras da BR-116;
- As unidades dos indicadores e das quantidades de pagamento não estimulam a conclusão dos serviços;
- Os entrevistados não identificaram atrasos significativos relacionados às preparações, porém relataram atrasos eventuais nas inspeções de qualidade.

4.4 A Modificação do Conceito da Programação das Obras Rodoviárias

No Sistema Toyota de Produção, o tempo de atravessamento é reduzido pela eliminação das esperas, diretamente proporcionais aos estoques em processo. Estes estoques são diretamente proporcionais aos tamanhos dos lotes de trabalho e de transferência (SHINGO, 1996). No fluxo da Função Processo das obras rodoviárias, a espera do processo refere-se ao tempo entre a execução de duas camadas, uma sobre a outra. Eliminando as folgas existentes entre as atividades no mesmo ponto da obra, pequenos segmentos de cada atividade são concluídos mais rapidamente, iniciando imediatamente a próxima atividade no mesmo ponto.

Figura 31 – Adequação da produtividade dos recursos com folga de capacidade



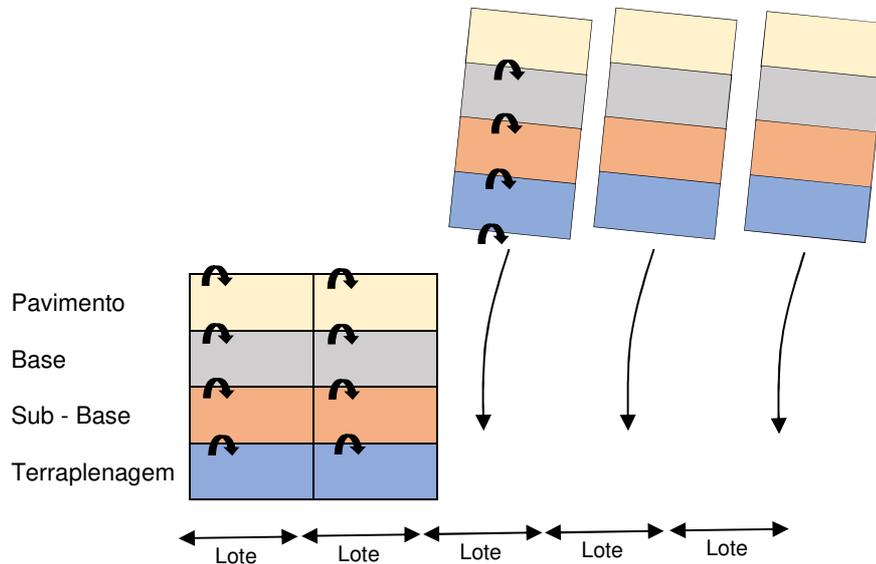
Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 31 explicita a programação exemplificada anteriormente na Figura 29, minimizando os estoques em processo, o que gera uma redução no tempo de atravessamento. Por outro lado, esta mudança, reduz a produtividade alcançada pelas atividades mais rápidas, pois elas necessitam estar mobilizadas por um período maior para realizar a mesma quantidade de trabalho.

Esta alteração não se resume simplesmente em modificar as datas e prazos de mobilização das equipes. Ela substitui o conceito de execução por camadas, objetivando a conclusão total do projeto, por um conceito semelhante à produção seriada, uma vez que as obras rodoviárias são legitimamente lineares, e podem ser entendidas como uma grande quantidade de “unidades” de um produto, na maioria das vezes, igual. Ou seja, uma rodovia com 12 km, com características únicas de traçado (como um projeto) também pode ser entendida como a união de 12.000 unidades similares de estrada com um metro de extensão. E cada uma destas unidades, quando finalizadas podem ser imediatamente entregues, ou seja, abertas ao tráfego. Neste caso, o sistema busca finalizar todas as atividades em cada uma

das unidades do produto, ao invés de se concentrar em cada atividade isoladamente (Figura 32).

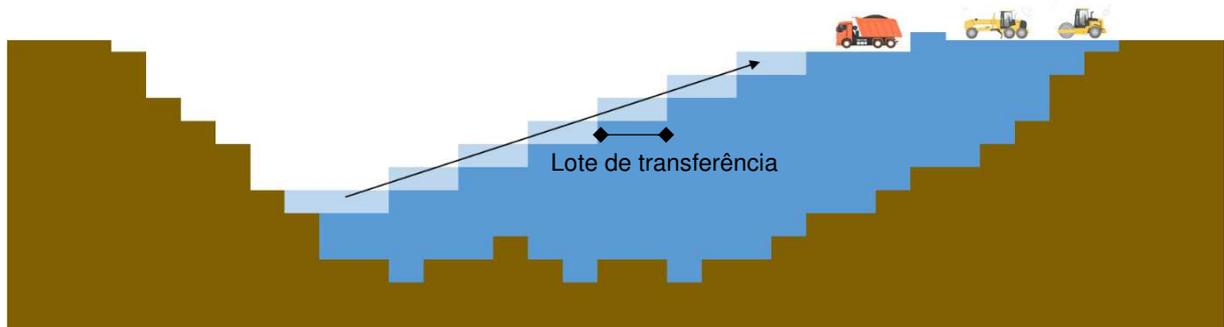
Figura 32 – Paradigma de execução visando a entrega



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para que isto ocorra, deve-se substituir os poucos e longos ciclos, focados em terminar cada camada, empurrando o trabalho horizontalmente sobre a extensão da obra, por ciclos curtos e frequentes, de forma que camadas de pequenos segmentos vão se sobrepondo verticalmente, focados em liberar trechos para as próximas atividades e finalmente alcançar a taxa de conclusão necessária, como o *takt-time* do STP (Figura 33). Neste novo contexto, o tamanho e a localização do lote de trabalho são de suma importância, sendo necessária a implantação de uma ferramenta para garantir que não ocorra a superprodução e orientar a programação dos recursos no dia a dia, como o Kanban e o TPC fazem na indústria seriada.

Figura 33 – Lote e sequência visando a entrega



Fonte: Elaborado pelo autor

Em primeiro plano esta ferramenta deve orientar a localização dos trabalhos visando a finalização do produto. Em um segundo plano, garantir os estoques (ou pulmões) entre as atividades dentro dos reduzidos níveis planejados no longo prazo, e em ciclo subsequente, gerenciar os recursos dentro das equipes, evitando o processamento demasiado dos recursos não restritivos.

Os entrevistados consideraram a execução conforme este modelo muito complexa e improdutiva, pela quantidades de mobilizações e desmobilizações de equipes, como afirma o E2:

“Se você fizer por camadas, ganha-se em agilidade, eu acredito. Se eu tivesse que fazer uma extensão pronta de rodovia, os mesmos 23 km que eu tinha lá, não ia ser eficiente. Porque daí eu precisaria rodar uma usina de asfalto para poder botar asfalto em um pedaço muito pequeno....Eu acredito que por serviços a gente ganhe em tempo...O tempo final se fizer por camada fica muito mais rápido, muito mais eficiente.”

Porém, verificando os dados da Tabela 8, pode-se perceber que não há uma discrepância relevante entre as capacidades das equipes que justifique tais remobilizações. E, diferentemente dos modelos teóricos aqui apresentados, a subutilização de algumas equipes ou recursos não deve ser proibida. Este fenômeno ocorre nas indústrias que trabalham com baixos níveis de estoque, e, a despeito deste fato, elas atingem altos índices de produtividade global. É possível que este pressuposto seja o maior responsável pelos métodos de planejamento e de execução atualmente empregados. Já as inspeções - ensaios de solos e conferências topográficas – realizados pelas equipes de supervisão externas foram apontados por alguns entrevistados como uma fonte eventual de atrasos, mesmo em um modelo com pouquíssimos ciclos. Com canchas menores e sendo cobertas rapidamente por novas

camadas buscando a direção vertical do fluxo, longos tempos necessários para a inspeção podem acarretar atrasos para iniciar novas camadas. Neste caso, o programador é impelido a executar uma “cancha” em uma camada mais baixa, provocando o movimento horizontal indesejado no fluxo do processo. Por isto, mais do que os *set-ups*, nas obras rodoviárias será imprescindível encontrar formas rápidas para realizar as conferências topográficas e os ensaios de qualidade da camada.

4.5 A Construção de Diretrizes para a Redução do Tempo de Atravessamento de Obras Rodoviárias

Considerando os resultados obtidos nesta pesquisa, serão discutidas alternativas para a programação das obras rodoviárias visando a redução do tempo de atravessamento, organizadas por eixo de análise:

4.5.1 Restrições/Fatores Externos

As evidências coletadas nesta pesquisa deixam claro que o ritmo das obras da BR-116 foi fortemente impactado por interferências externas à execução dos serviços, como licenciamentos ambientais de jazidas, pedreiras e canteiros de obra, revisões de projeto e desapropriações. As principais restrições externas são tratadas a seguir.

4.5.1.1 Licenciamentos ambientais e deficiências de projeto

Conforme Tabela 6, o prazo entre a ordem de início e a liberação ambiental da primeira jazida variou de 8 a 11 meses em 7 contratos. Os outros 2 contratos atrasaram a emissão da Ordem de Início, e por este motivo os prazos foram menores. Isto representa quase a metade dos 24 meses previstos para a execução da obra, mostrando-se uma restrição muito importante.

Sob o ponto de vista do planejamento da obra, a antecipação do início dos trabalhos sem as licenças ambientais necessárias para a conclusão da terraplenagem dificilmente irão gerar algum ganho de prazo final do projeto. Somente na hipótese da terraplenagem ser uma atividade crítica aliada à disponibilidade imediata de material, como em cortes no leito da rodovia, o início prematuro irá contribuir para a redução do prazo da obra. Ao contrário, o alongamento no prazo gera aumento dos custos da

construtora e as perturbações causadas nos arredores podem provocar ainda mais prejuízos aos envolvidos no projeto.

Por outro lado, alguns entrevistados afirmaram que várias adversidades não previstas nos projetos foram percebidas somente após o início dos trabalhos nestes locais, provocando a necessidade de revisões de projeto que atrasam o andamento da obra.

Portanto, para evitar perdas, as obras rodoviárias devem mobilizar definitivamente somente após a obtenção das licenças legais necessárias. Porém, até lá, é prudente que sejam iniciados e executados os serviços como desmatamento, sondagens e outros estudos necessários para identificar possíveis necessidades de revisões de projeto.

4.5.1.2 Desapropriações

O trecho estudado já possuía a largura necessária para a duplicação liberada desde a implantação original da rodovia, há 5 décadas atrás. Por este motivo, os entrevistados classificaram os efeitos causados pelas desapropriações como pontuais ou de menor efeito, pois elas se concentraram somente em pontos de alargamento, como nas interseções e acessos.

Porém, alguns entrevistados comentaram que quando as obras foram paralisadas, em 2015, alguns destes pontos ainda possuíam pendências relacionadas aos processos de desapropriações. Portanto, caso as desapropriações afetem uma extensão considerável do projeto, seu impacto pode ser muito grande no andamento das obras.

4.5.2 Planejamento de Longo Prazo

Os conceitos utilizados na elaboração do planejamento de longo prazo são fundamentais para reduzir o tempo de atravessamento de projetos rodoviários. A seguir, estes conceitos serão aprofundados.

4.5.2.1 Política de estoques e de utilização dos recursos

Este trabalho mostrou que a busca por altos índices de produtividade individual das equipes pode criar esperas entre as atividades, que acabam aumentando o tempo de atravessamento das obras rodoviárias. Para reduzir este prazo, deve-se eliminar as esperas, aproximando o máximo possível o início e o ritmo de produção das várias atividades, nem que seja necessário reduzir o grau de utilização de alguns recursos, adequando-os a um ritmo contínuo de entregas (*Takt-time*), como explicitado na Figura 31.

4.5.2.2 Método de planejamento com localização das atividades

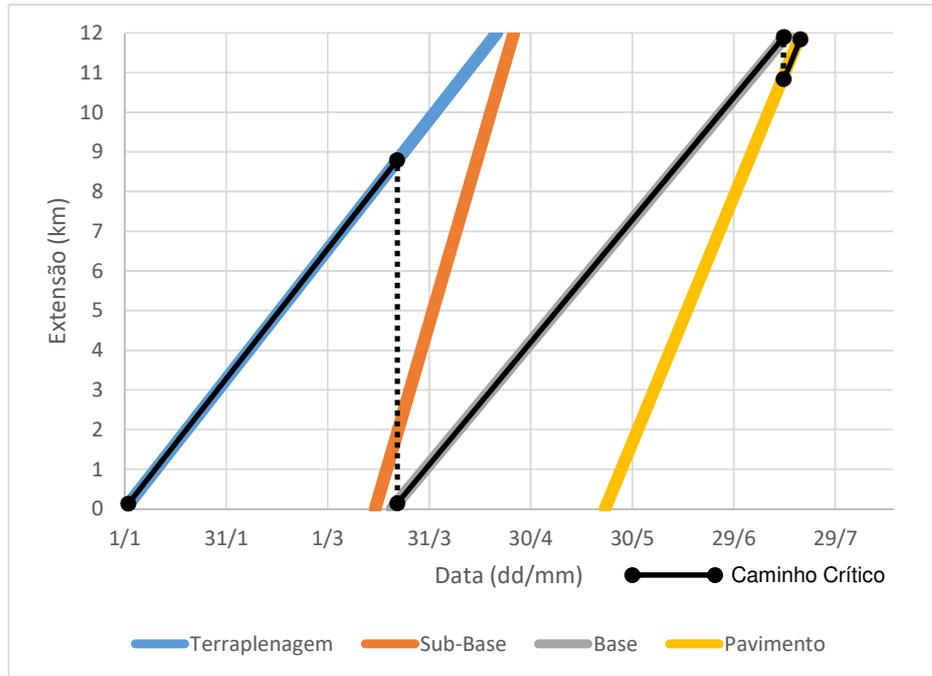
Constatou-se que a principal fonte de atrasos nas obras de duplicação da BR-116 está relacionada à espera do processo pois, enquanto havia um grande volume de terraplenagem efetivamente realizada, as outras atividades haviam mal iniciado. Considerando a direção vertical do fluxo das obras rodoviárias, a espera do processo é o tempo dispendido entre a conclusão de um lote (extensão de uma camada) e o início da execução de uma nova camada sobre ele. A execução de longas camadas horizontais atrasam a sobreposição de camadas, tornando lenta a velocidade vertical do processo, com lotes concluídos um ao lado do outro, e não um sobre o outro. Esta característica torna a localização da execução dos serviços com igual importância à sua temporização. Por este motivo é essencial que o planejamento de longo prazo seja elaborado utilizando um gráfico Espaço x Tempo. Ele permite a avaliação dos estoques/esperas planejados entre as atividades, o que é fundamental para reduzir o tempo de atravessamento. Além disto, esta técnica permite analisar e eliminar a sobreposição de recursos com maior facilidade, além de tornar o controle muito mais fácil e intuitivo, pois possui um forte componente visual.

4.5.2.3 Identificação do caminho crítico do projeto

O caminho crítico da obra precisa ser localizado, no intuito de iniciar rapidamente a sua execução. A sua identificação nos modelos Espaço x Tempo não é intuitiva. De forma simplificada, o caminho crítico irá percorrer o primeiro lote de transferência de cada atividade até alcançar a atividade mais longa de todas,

finalizando com o último lote de transferência em todas as atividades subsequentes (Figura 34). Mais uma vez, o tamanho do lote de transferência é relevante dentro do tempo de atravessamento.

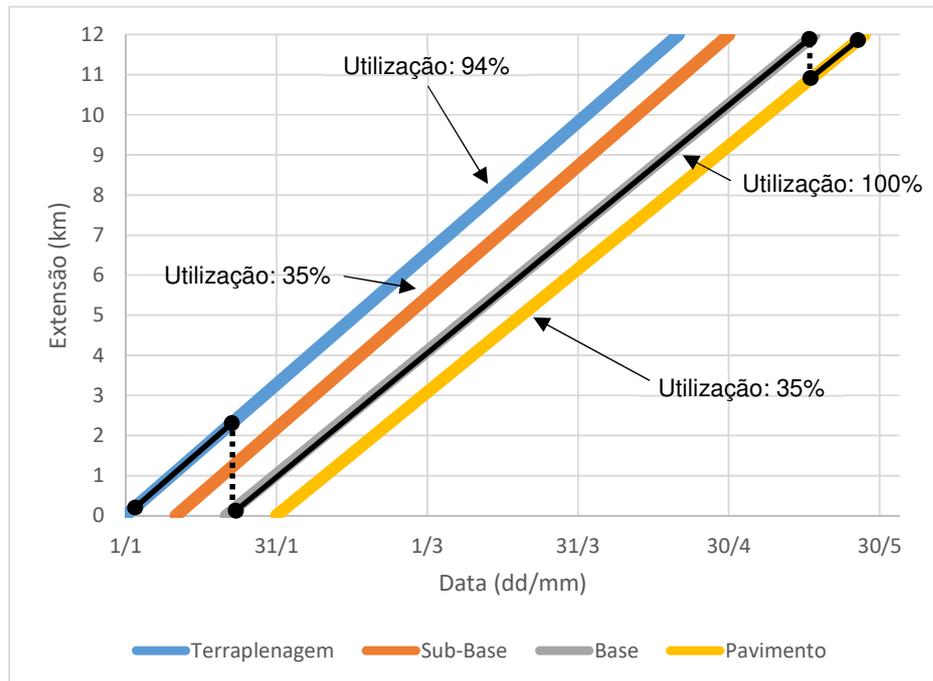
Figura 34 – Caminho Crítico nos projetos lineares



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao aproximar e sincronizar as atividades, conforme ilustrado na Figura 31, utilizamos um conceito central do planejamento de longo prazo visando a redução do tempo de atravessamento: a utilização dos recursos com taxas menores que suas capacidades. Neste cenário, a duração das atividades irá se assemelhar, tornando mais difícil a identificação do caminho crítico. Neste caso, além das atividades mais longas, o caminho crítico percorre as atividades e locais onde o nível de utilização dos recursos seja mais crítico (Figura 35).

Figura 35 – Caminho Crítico com recursos sub-utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.2.4 Alocar os *buffers* dentro do planejamento

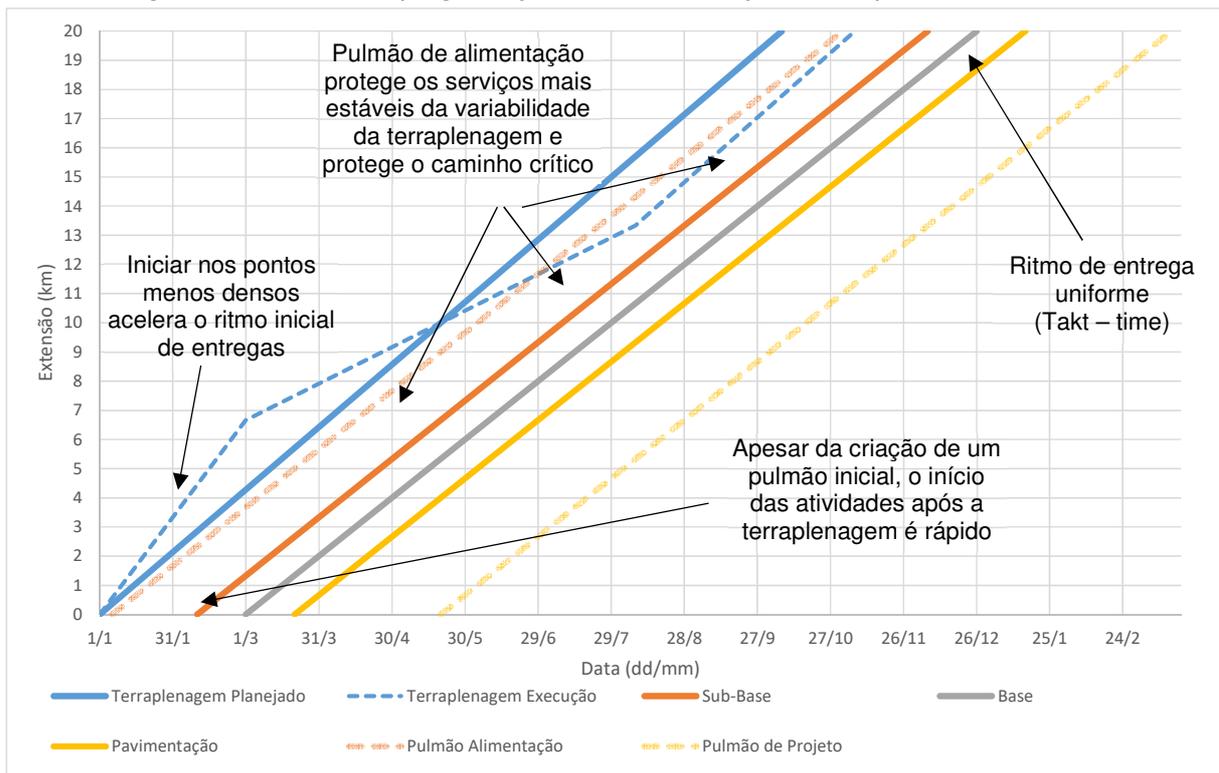
Ao aproximar as atividades e uniformizar os seus ritmos de execução, ocorre uma drástica redução nos estoques de tempo, ou *buffers*, ao longo do fluxo, o que pode acarretar algumas discontinuidades. Para proteger o sistema deste risco é importante alocar *buffers* no planejamento das obras. O STP e a TOC possuem políticas distintas quanto à distribuição dos estoques. O STP distribui o estoque ao longo da linha, enquanto que a TOC concentra a proteção ao fluxo na restrição do sistema. Estes *buffers* devem proteger o sistema de eventualidades que afetem o fluxo da produção. Os principais riscos de discontinuidades estão ligados ao fluxo na restrição (impacto) e a eventos com alta variabilidade (frequência). Tem-se então dois pontos importantes para a concentração dos *buffers*, ou pulmões de tempo: protegendo as atividades sucessoras de atividades com alta variabilidade e protegendo as atividades críticas.

Entre as principais atividades das obras rodoviárias, a terraplenagem é a atividade com maior variabilidade de ritmo de produção pois é mais suscetível à variação climática, devido à utilização de solos, como a argila. Já a utilização de pedra garante uma alta estabilidade de produtividade aos serviços de sub-base, base e pavimentação. Como o caminho crítico, neste tipo de projeto, se concentra na

progressão da atividade com menor capacidade, o ideal, neste caso, é procurar organizar os recursos de modo a restringir o projeto nas atividades sucessoras à terraplenagem. Isto visa unir o *buffer* de alimentação, que protege o caminho crítico, à proteção necessária às atividades sucessoras da terraplenagem, visando reduzir o impacto da variabilidade e garantir um ritmo de entrega uniforme de extensões de obra concluída, conforme o *takt-time* determinado. Isto também faz sentido operacionalmente, pois normalmente os serviços de pavimentação necessitam de recursos mais caros e mais complicados de mobilizar ou de alterar sua capacidade, como instalações de britagem, recicladores de solos ou usinas de asfalto, enquanto que os serviços de terraplenagem utilizam equipes facilmente mobilizáveis e multiplicáveis.

Pode-se pensar que este era o objetivo dos coordenadores das obras da BR-116, quando estavam criando o estoque após as atividades de terraplenagem. Porém, neste modelo, diferentemente do acontecido nas obras da BR-116, deve-se garantir a imediata transferência de segmentos para as próximas atividades a serem iniciadas. Para isto, a sugestão é iniciar a terraplenagem em pontos com menor densidade de serviços de terraplenagem, para rapidamente concluir extensões e iniciar as atividades de pavimentação, que compõe o caminho crítico (Figura 36).

Figura 36 – Modelo de programação visando a redução do tempo de atravessamento



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.3 Programação de Curto Prazo

Os elementos coletados nesta pesquisa mostram que os métodos e técnicas de programação de curto prazo foram pouco utilizada nas obras da BR-116 e, em muitas oportunidades, foram confundidos com o controle regular das produtividades das equipes. Porém, o conceito aqui proposto confere uma importância expressiva à programação de curto prazo. Ele inclui funções presentes no sistema *Kanban* e na métrica *Takt-time*, como a definição do tamanho dos lotes, tamanho dos estoques, priorização de fluxo e controle. A seguir estes elementos serão detalhados.

4.5.3.1 Definição do tamanho do lote de trabalho

Foi constatado na entrevista com os engenheiros das obras de duplicação da BR-116 que o lote de trabalho, de forma geral, não possuía um tamanho definido. Somente um entrevistado mencionou uma medida objetiva para a extensão do lote de trabalho. A Tabela 11 resume os tamanhos dos lotes de trabalho comentados pelos entrevistados.

Tabela 11 – Extensão dos lotes de trabalho comentados pelos entrevistados

Lote de Obra	1 e 2	3	5	6	8	9
Entrevistado	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Extensão do lote de trabalho	2 a 3 km, não mais de 5 a 6 km	Umas centenas de metros.	400 m nas camadas baixas e 200 m nas camadas finais	Toda extensão do aterro	Máximo possível no verão, muito menos no inverno	Extensão que permita terminar o lote no mesmo dia

Fonte: Entrevistas com os engenheiros gerentes dos contratos

A programação de curto prazo deve definir, de forma clara, qual o tamanho do lote de trabalho de cada atividade. A utilização de pequenas extensões de lote de trabalho é essencial para o encolhimento do tempo de atravessamento da obra. Primeiramente, para reduzir a espera do lote em execução, com o agravante que ele se multiplica pelo número de camadas. Portanto, em aterros com 3 metros, o que é comum, em camadas de 30 cm², a espera do lote será multiplicada por 10. Somente com a utilização de lotes com tamanhos reduzidos é possível a aplicação do plano

² A Norma de Execução de Aterros do DNIT prevê a execução de camadas de solo com 30 cm de espessura.

conforme visto no capítulo do Planejamento de Longo Prazo, pois o lote de transferência possui uma relação direta com lote de trabalho. Quanto maior a extensão do lote de trabalho, maior será a extensão necessária para liberar as camadas para receberem novas camadas de material sobre elas mesmas. Portanto, a redução do lote de trabalho permite a redução do lote de transferência, que por sua vez propicia o rápido início de todas as atividades. Do ponto de vista operacional, lotes de trabalho reduzidos são fundamentais para a verticalização do fluxo da função processo, conforme Figura 33. Como exemplo, se utilizarmos a menor extensão citada nas entrevistas para o lote de trabalho, de 400 metros, e um aterro de 3 metros de altura com 10 camadas, serão necessários 4.000 metros de extensão de cancha liberada para o escalonamento das camadas, o que pode ser raro no decorrer da obra.

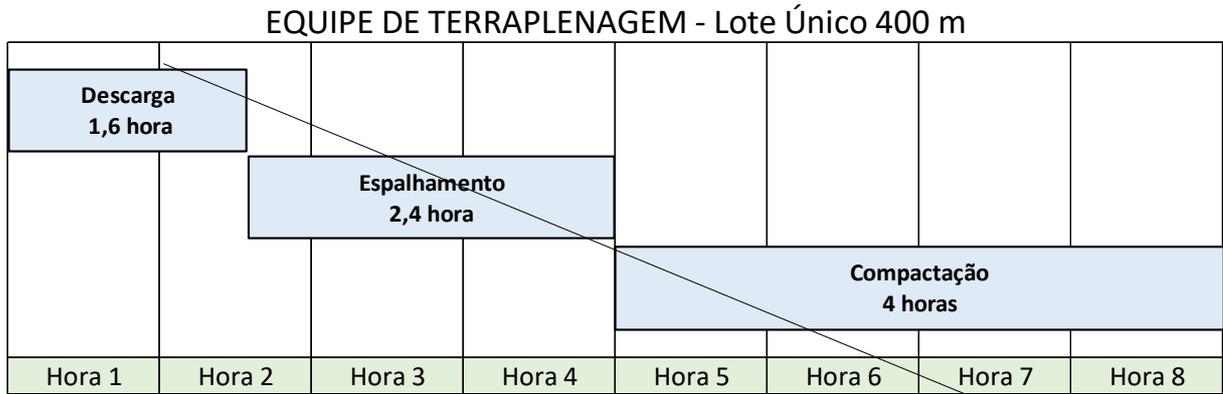
A redução do tamanho do lote de trabalho também provoca melhorias na programação dos recursos dentro das linhas ou células de produção de cada atividade. Algumas atividades precisam re-encher a linha a cada interrupção diária, para corrigir parâmetros como a umidade ou necessidade de manter a trafegabilidade, por exemplo. O tempo perdido diariamente para encher a linha será proporcional a soma de todos os processamentos do primeiro lote de trabalho. Portanto, lotes de trabalho extensos provocam perdas diárias de aproveitamento dos gargalos de cada célula, reduzindo a produtividade geral da equipe. Para exemplificar, abaixo é calculado o tempo de aproveitamento do recurso e processamento restritivo da equipe, com um lote único diário, conforme citado por dois entrevistados, e um lote quatro vezes menor.

Opção 1:

Tempos de ciclo para lote de trabalho único diário com 400 metros:

- 1) Descarga de material – 1,6 hora
- 2) Espalhamento – 2,4 horas
- 3) Compactação – 4 horas

Figura 37 – Fluxo dos processamentos para lote único de 400 metros



Fonte: Elaborado pelo autor

Lote Único
400 metros

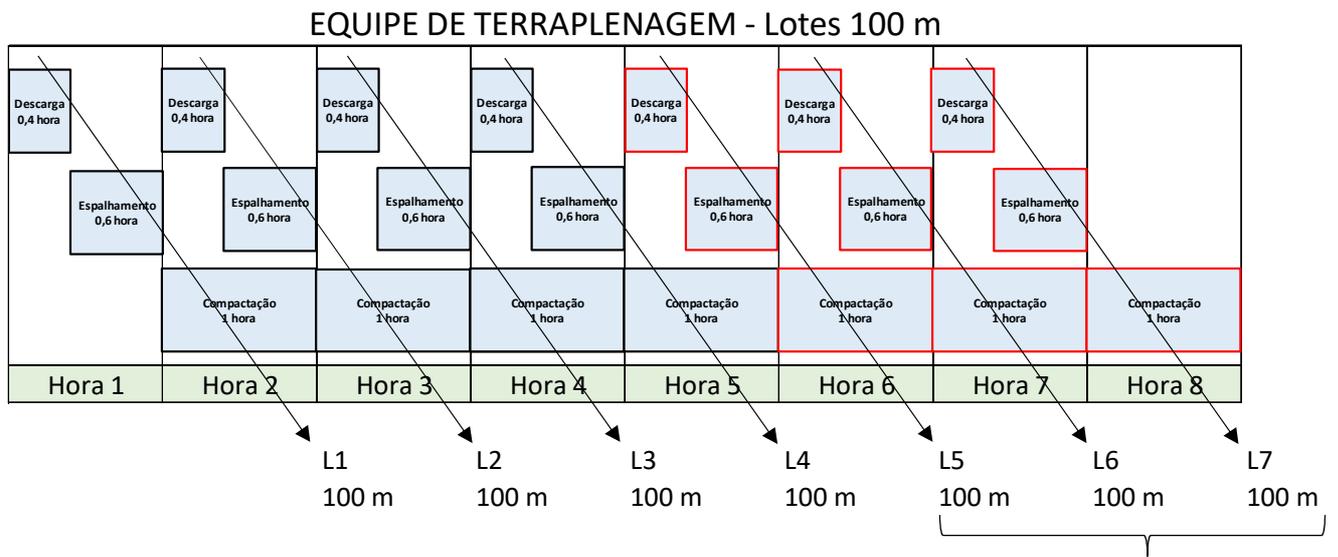
Como a linha inicia vazia, o processamento do recurso restritivo da equipe inicia somente depois de 4 horas, restando somente outras 4 horas do dia para sua utilização (Figura 37).

Opção 2:

Tempos de ciclo para lotes de trabalho com 100 metros:

- 1) Descarga de material – 0,4 hora
- 2) Espalhamento – 0,6 hora
- 3) Compactação – 1 hora

Figura 38 – Fluxo dos processamentos para lotes de 100 metros



Ganho de produtividade em relação ao lote único

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando lotes de 100 metros, o recurso restritivo inicia o processamento em 1 hora, restando 7 horas para sua utilização. Com isto, foi possível executar 7 lotes com 100 metros, o que representa um acréscimo de 75% na produtividade da equipe (Figura 38).

Deste modo, a definição do tamanho do lote de trabalho é um ponto central. Do ponto de vista da Função Processo, quanto menor o tamanho do lote de trabalho e de transferência, melhor. O limite para a redução do tamanho se dará pelas características da Função Operação envolvidas na atividade. O tamanho dos equipamentos e outras características dos movimentos da operação podem reduzir a produtividade dos processamentos a medida em que o lote vai sendo reduzido, até o momento em que há mais perdas do que ganhos para o sistema. Como depende de muitas características, deve-se avaliar cada situação procurando identificar o tamanho que promova maiores ganhos para todo o sistema. Mas como regra geral, deve-se buscar uma extensão que permita que vários lotes sejam processados em um dia.

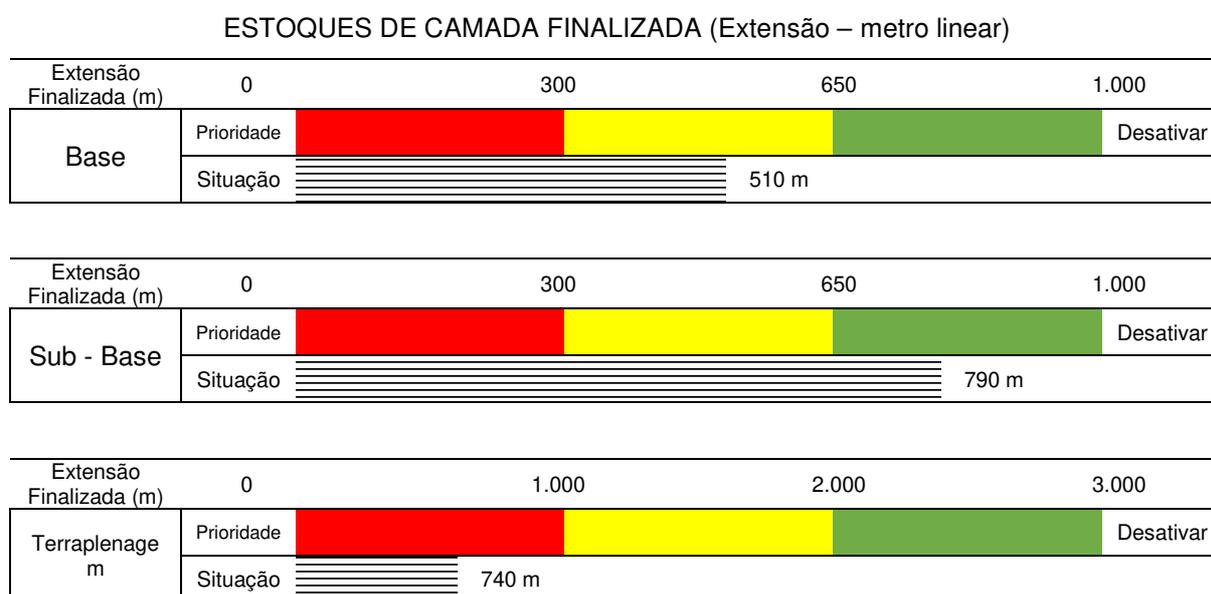
4.5.3.2 Transição entre o longo e curto prazo – o *Pull Planning*

O termo *Pull Planning* tem sido utilizado para nomear o processo de planejamento de médio prazo do LPS (*Last Planner System*). Isto porque a principal característica desta técnica é a identificação das restrições ainda presentes nas atividades que serão programadas com as equipes de trabalho no curto prazo. Pacotes de trabalho com restrições não são liberados para a execução, enquanto ainda houver incertezas. O objetivo é proteger as equipes de campo de problemas e definições que devam ser tomadas em outras esferas, para estabilizar a produção. A característica de sistema “puxado” se dá pela garantia de execução de pacotes de trabalho que possam ser vendidos, ou seja, concluídos, impedindo a produção de pacotes semi-acabados, aumentando o estoque em processo (*WIP*).

A identificação das restrições e posterior liberação dos pacotes deve seguir a sequência definida no plano de longo prazo, para a atividade e a localização do lote de trabalho, buscando reduzir as esperas dos lotes de transferência. Na mesma lógica, a prioridade na remoção das restrições deve seguir a ordem cronológica de ataque dos lotes do plano de longo prazo. Restrições relativas a pacotes mais antigos devem ser priorizadas em relação às restrições de pacotes mais recentes. Mesmo assim, é aconselhável utilizar alguma ferramenta que alerte para a produção de

excesso de estoque em processo, caso as restrições se concentrem em alguma atividade em especial. Propõe-se um controle visual, similar ao gerenciamento dos pulmões da CCPM, porém medindo-se a extensão de atividades concluídas aguardando nova operação sobre ela. Pode-se utilizar o plano de longo prazo para determinar as extensões máximas para cada atividade, e divide-se o intervalo nas cores verde, amarelo e vermelho, indicando, inclusive, sua desativação para evitar a produção de estoques (Figura 39).

Figura 39 – Gerenciamento dos pulmões de atividades



Fonte: Elaborado pelo autor

A periodicidade de atualização e análise do planejamento de médio prazo, conforme conceituado pelo Last Planner System, é semanal, e o horizonte de análise varia de 2 semanas a 3 meses, dependendo, principalmente, do lead time necessário para a mobilização dos recursos em cada obra. A cada atualização, somam-se os pacotes de trabalho programados no planejamento de longo prazo para a semana final do horizonte definido, além da manutenção das atividades que não foram concluídas na semana corrente. Com base neste plano é feito o levantamento de restrições, que são incluídas em um plano de ação.

4.5.3.3 Manutenção e controle do processo

Para manter o sistema aderente aos planos de longo e médio prazos, é necessário definir uma sistemática para comprometer as frentes de trabalho com a

programação de curto prazo. Esta sistemática de acompanhamento deve ter ciclos muito curtos, de preferência diários, considerando o alto grau de incertezas envolvendo as atividades nas frentes de serviço.

Chamada de Planejamento de Comprometimento dentro da metodologia *Last Planner System (LPS)*, esta etapa deve garantir a clareza dos requisitos de cada pacote de trabalho, comprometer a equipe com o planejamento e acompanhar a execução dos pacotes de trabalho.

4.5.3.4 Indicadores e medição de pagamento

As unidades de pagamento pelos serviços realizados, e conseqüentemente, os indicadores utilizados pelas construtoras nas obras da BR-116, eram baseados em volume ou peso de serviço executado. Estas unidades não incentivam a conclusão do objeto. Pelo contrário. Terraplenagem de camadas mais baixas são mais fáceis de executar, e são remuneradas da mesma forma que as camadas mais altas, fazendo com que os responsáveis priorizem as camadas mais baixas, mais distantes da conclusão de segmentos.

Portanto, para estimular a redução do tempo de atravessamento das obras, deve-se utilizar indicadores que expressem o ritmo de conclusão das atividades. Como exemplo, pode-se utilizar unidades como metro linear de terraplenagem concluído.

O LPS utiliza o indicador PPC – Percentual de pacotes concluídos, com controle diário. Ele expressa a quantidade de pacotes diários concluídos entre todos os pacotes planejados. Pacotes com conclusão parcial são desconsiderados, transformando métricas lineares em pacotes discretos. O objetivo é estabilizar a produção eliminando variabilidades a mais ou a menos do que foi programado. Este ponto deve ser avaliado, pois pode desestimular o executor quando fica evidente que a conclusão do pacote é impossível, ou na recuperação de desvios anteriores.

4.5.4 Preparação e Controle de Qualidade

Os coordenadores das obras da BR-116 não apontaram esperas consideráveis nas atividades de preparação, como locação do segmento ou transporte dos equipamentos. Já as inspeções para o controle de qualidade, que devem ser

realizadas após a conclusão de cada lote de trabalho, foram apontadas como geradoras de pequenas interferências, principalmente quando executadas pelas empresas supervisoras da obra.

É natural que não houvesse evidências de atrasos provocados por *set-ups* ou inspeções durante as obras da BR-116, uma vez que a possibilidade quase infinita de geração de estoques intermediários pagos ao executor amortecia qualquer necessidade de aceleração destas atividades. Enquanto as preparações e inspeções eram realizadas em um lote de camada concluída, as equipes continuavam trabalhando em outros pontos sem haver nenhuma orientação no sentido de produzir camadas sobre àquelas recém concluídas. Soma-se a isto, a precariedade de alguns métodos de ensaios de qualidade da compactação de solos, onde pode-se aguardar dias para a obtenção de um resultado válido, principalmente pelas condições de umidade do solo. Desta forma, se uma inspeção não é realizada logo após a conclusão da camada, e ocorrer uma chuva, a realização do teste para permitir a execução de outra camada sobre ela pode demorar dias. Portanto, ainda não estão claros os prazos envolvidos nestes elementos e sua influência dentro desta nova concepção de programação, com a multiplicação dos ciclos em lotes pequenos.

Sugere-se utilizar métodos de ensaios alternativos mais modernos e rápidos, como densímetros nucleares e sondas automáticas para medição da deflectometria, substituindo os ensaios de Cone de Areia e Viga Benkelmann atualmente empregados. Estes testes devem ser realizados em ato contínuo à conclusão da camada, o que pode demandar um regular e confiável sistema de comunicação das atividades em curso para orientar as equipes de laboratório de solos e de topografia.

4.6 Diretrizes para Programação de Obras Rodoviárias Objetivando a Redução do Tempo de Atravessamento

Considerando todas as análises e conclusões desta pesquisa, foram elaboradas as seguintes diretrizes para a redução do tempo de atravessamento em obras rodoviárias:

- Mobilizar a obra quando as restrições legais estiverem resolvidas e as instalações industriais disponíveis para uso;
- Permitir a utilização de recursos a taxas inferiores do que a sua capacidade, para garantir o rápido início das atividades com maior nível de criticidade;

- Utilizar Gráficos Espaço x Tempo para a elaboração dos cronogramas de longo prazo;
- Programar os recursos de forma que o caminho crítico suceda a terraplenagem;
- Iniciar a terraplenagem pelo local menos denso em serviços iniciais e de terraplenagem;
- Definir a menor extensão possível para os lotes de trabalho de cada atividade;
- Utilizar a metodologia *Last Planner System* para efetivar as programações e controle da obra, englobando:
 - Plano de médio prazo (*Pull Planning*) que identifique e remova as restrições para as próximas atividades, liberando somente pacotes de serviço passíveis de conclusão para a programação executiva da obra;
 - Programação de Comprometimento, onde os pacotes de trabalho diários são distribuídos, com orientação de detalhes dos serviços e da localização de sua execução;
 - Controle do PPC – Percentual de Pacotes Concluídos;
- Utilizar indicadores que promovam a conclusão das atividades;
- Utilizar métodos de controle de qualidade mais rápidos.

5 CONCLUSÃO

A seguir serão apresentadas a conclusão, as limitações da pesquisa e a recomendação para trabalhos futuros.

5.1 Conclusão da Pesquisa

O objetivo desta dissertação foi elaborar diretrizes a serem utilizadas para a redução do tempo de atravessamento nas obras rodoviárias. Para isto, foi realizado um estudo de casos múltiplos envolvendo os nove Lotes de obras de duplicação da BR-116 no Rio Grande do Sul. Além de pesquisa documental, foram entrevistados 6 engenheiros responsáveis pelas obras de 7 lotes.

Para realizar a análise foram definidos quatro eixos de análise: Restrições Externas, Planejamento de Longo Prazo, Programação de Curto Prazo e Preparações e Inspeções. Foi constatado que interferências externas, principalmente ligadas aos licenciamentos ambientais, provocam atrasos para o início das atividades. Também foi observado que as lógicas usualmente utilizadas para o planejamento e programação das obras rodoviárias estimulam o alongamento do tempo de atravessamento.

Para embasar a elaboração das diretrizes foram utilizadas as teorias que sustentam os sistemas de produção seriada com baixos níveis de estoques, em particular o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições. As diretrizes resultantes desta análise são:

- Mobilizar a obra quando as restrições legais estiverem resolvidas e as instalações industriais disponíveis;
- Permitir a utilização de recursos a taxas inferiores do que a sua capacidade, para garantir o rápido início de todas as atividades;
- Utilizar Gráficos Espaço x Tempo para a elaboração dos cronogramas de longo prazo;
- Programar os recursos de forma que o caminho crítico suceda a terraplenagem;
- Iniciar a terraplenagem pelo local menos denso em serviços iniciais e de terraplenagem;
- Definir a menor extensão possível para os lotes de trabalho de cada atividade;

- Utilizar a metodologia *Last Planner System* para efetivar as programações e controle da obra, englobando:
 - Plano de médio prazo que identifique e remova as restrições para as próximas atividades, liberando somente pacotes de serviço passíveis de conclusão para o plano de execução da obra;
 - Plano de Curto Prazo com a distribuição dos pacotes semanais, que oriente os detalhes e a localização dos serviços a executar;
 - Controle do PPC – Percentual de pacotes concluídos;
- Implantar indicadores que promovam a conclusão do objeto;
- Utilizar métodos de controle de qualidade mais rápidos.

5.2 Limitações dos Resultados Observados

Em relação às conclusões apresentadas, deve-se ressaltar as seguintes limitações:

- Esta pesquisa não avaliou as produtividades das diversas operações envolvidas, inclusive operações de transporte;
- Esta pesquisa não analisou a viabilidade econômica do modelo proposto;

5.3 Recomendações para Trabalhos Futuros

No sentido de expandir o conhecimento sobre o tema tratado nesta dissertação, recomenda-se a exploração dos seguintes aspectos para estudos futuros:

Avaliação dos resultados práticos com a aplicação das diretrizes em uma obra;
Estruturação de métodos concretos para a definição dos lotes nas obras rodoviárias;

Proposição de formas de remuneração dentro dos contratos de obras que estimulem a redução dos tempos de atravessamento;

Avaliação da viabilidade econômica da redução do prazo total em detrimento à produtividade dos recursos em obras rodoviárias.

REFERÊNCIAS

AGRAMA, F. A. E. - **Linear projects scheduling using spreadsheets features**. Alexandria Engineering Journal, Vol. 50, 2011.

AL SARRAJ, Z. M. – **Formal development of Line-of-Balance technique**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 116, 1990.

ALENCAR, C. T. - **Brasil precisa investir R\$ 1 trilhão em transporte até 2030**. Revista Sociedade, USP, 22/09/2014.

ANTUNES JR., J. A. V. - **Em Direção a Uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da Teoria das Restrições e da teoria que sustenta a criação dos sistemas de produção com estoque zero**. Tese (Doutorado em Administração). PPGA-UFGS, Porto Alegre, 1998.

ARDITI, D.; ALBULAK, M. Z. – **Line-of-Balance scheduling in pavement construction**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 112, 1986.

AZIZ, R.F.; ABDEL-HAKAM; A. A. - **Exploring delay causes of road construction projects in Egypt**. Alexandria Engineering Journal, 2016.

BALLARD, G.; – **Implementing Lean Construction: Stabilizing work flow**. Lean Construction, Rotterdam, 1997.

BALLARD, G.; – **Last Planner System of production control**. Tese (Doutor em Filosofia), Universidade de Birmingham, Birmingham, 2000.

BERNARDES, M. M. S. – **Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil**. LTC – Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2003.

CLOUGH, R. H.; SEARS, G. A. - **Construction project management**. 3rd Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1991.

COX III, J. F.; SCHLEIER JR, J. G. **Handbook da Teoria das Restrições**. Editora Bookman, Porto Alegre, 2013.

CYPLIK, P.; ADAMCZAK, M.; HADAS, L. – **Critical Chain Project Management and Drum – Buffer – Rope Tools Integration in Construction Industry**. LogForum, Vol. 8, 2012.

DAMCI, A.; POLAT, G. - **Impacts of different objective functions on resource leveling in construction projects: a case study**. Journal of Civil Engineering and Management, 2014.

DAMCI, A.; ARDITI, D.; POLAT, G. - **Impacts of Different Objective Functions on Resource Leveling in Line-of-Balance Scheduling**. Journal of Civil Engineering, Vol. 20, 2016.

EL-RAYES, K.; MOSELHI, O. - **Resource-driven scheduling of repetitive activities**. Construction Management and Economics, Vol. 16, 1998.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. – **Métodos de Pesquisa**. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 2009.

GIL, A. C. - **Como elaborar projetos de pesquisa**. Ed. Atlas, São Paulo, 2007.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. F. **A Meta**. Editora Nobel, São Paulo, 1984.

GOLDRATT, E. M. **Corrente Crítica**. Editora Nobel, São Paulo, 1998.

GOLDRATT, E. M. **Standing on the Shoulders of Giants**. Week Diamond Magazine, Japão, 2008.

GUOFENG, M.; AIMIN W.; NAN LI, M.A.; LINGYUN G.; QI AI. **Improved Critical Chain Project Management Framework for Scheduling Construction Projects**. American Society of Civil Engineers, 2014.

HARMELINK, D. J. – **Linear scheduling model: The development of a linear scheduling model with micro computer applications for highway construction project control**. PhD thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, 1995.

HARMELINK, D. J.; ROWINGS, J. E. – **Linear Scheduling Model: Development of controlling activity path**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 124, 1998.

HARMELINK, D. J. – **Linear Scheduling Model: Float Characteristics**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 127, 2001.

HARMELINK, D. J.; YAMIN, R. A. - **Development and Application of Linear Scheduling Techniques to Highway Construction Projects**. Final Report, Joint Transportation Research Program, Indiana/USA, 2001a.

HARRIS, R. B.; IOANNOU, P. G. – **Repetitive Scheduling Method**. UMCEE Report No. 98-35, Civil and Environmental Engineering Department, UNIVERSITY OF MICHIGAN, Ann Arbor, Michigan, 1998.

JOHNSTON, D. W. - **Linear Scheduling Method for Highway Construction**. Journal of Construction Division, Vol. 107, 1981.

KAHMANN, A; KLOECKNER, A.P.; ZOCHE, L; CASSEL, R.A. **Teoria das Restrições e Gestão de Projetos – Corrente Crítica: Uma Revisão Sistemática de Literatura**. Revista Espacios, 2014.

KAMANGA, M.J.; STEYN, J.M. - **Causes of delay in road construction projects in Malawi**. Journal of the South African Institution of Civil Engineering. Vol.55, Outubro 2013.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report #72, Stanford University, Palo Alto, California, 1992.

LACERDA, D. P. **No sentido do Mundo dos Ganhos: Uma proposta de transição através do redesenho de processos em uma instituição de ensino superior**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção), Unisinos, São Leopoldo, 2005

MAHAMID, I.; BRULAND, A.; DMAIDI, N. - **Causes of Delay in Road Construction Projects**. Journal of Management Engineering, Julho 2012.

MATTILA, K. G.; ABRAHAM, D. M. – **Resource leveling of linear schedules using integer linear programming**. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol.5, 1998.

MOREIRA, M. R. **Causas de atrasos de obras do PAC: um diagnóstico na carteira de projetos do Ministério do Turismo**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2018.

NETO, C. A. S. C. – **Reflexões sobre investimentos em infraestrutura de transporte no Brasil**. Revista Radar, pág. 7, Outubro 2016.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em larga Escala**. Editora Bookman, Porto Alegre, 1997.

RAHBAR, F. F.; ROWING, J. E. - **Repetitive activity scheduling process**. AACE Trans., 36th Annu. Meeting, Orlando, Florida, 1992.

SELINGER, S. - **Construction planning for linear projects**. Journal of Construction Division, ASCE. 106(CO2), 1980.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: Do ponto de vista da engenharia de produção**. Editora Bookman, Porto Alegre, 1996.

SOARES, I.H.L.; MELO, D.R.A.; LEOPOLDINO, C.B.; ABREU, J.C.A.; MOITA, F.M. **A teoria das restrições em um processo de fabricação da indústria na construção civil: um estudo de caso**. UFSM, 2009.

SUHAIL, S. A.; NEALE, R. H. – **CPM/LOB: New methodology to integrate CPM and Line-of-Balance**. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 120, 1994.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU) - **As razões dos atrasos e abandonos de obras públicas no Brasil**. Audiência Pública, Dezembro 2015.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Ed. Bookman, Porto Alegre, 2001.

ZHANG, L.; TANG, Y.; QI, J. - **Resource Leveling Based on Backward Controlling Activity in Line of Balance**. Hindawi, Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2017.

APÊNDICE A – TABELA RESUMO DAS ENTREVISTAS

Trata-se de Tabela Resumo com principais achados nas entrevistas, com as devidas transcrições.