OTIMIZAÇÃO DO SEQÜENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA FERROVIA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SCHEDULING

Diogo Antonio Rodrigues

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO

Aprovada por:

_____

Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, M.Sc.

_____

Prof. Paulo André Lobo, M. Sc.

_____

Prof. Cândida Cristina Bosich Pinto, Bch.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

JANEIRO 2007

RODRIGUES, DIOGO ANTONIO
Otimização do Seqüenciamento de
Produção em uma Ferrovia através
de técnicas de Scheduling
[Juiz de Fora] 2006
VIII, 34 p. 29,7 cm (EPD/UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2006)
Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção
1. Otimização de Processos
2. Transporte Ferroviário
I. EPD/UFJF II. Título (série)

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a todos aqueles que contribuíram nesta jornada na Engenharia de Produção, em especial a minha família.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao professor Fernando Nogueira, pela dedicação na orientação dessa monografia; a MRS Logística S.A., pela divulgação das informações necessárias a esse estudo; e a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

OTIMIZAÇÃO DO SEQÜENCIAMENTO DE PRODUÇÃO EM UMA FERROVIA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SCHEDULING

Diogo Antonio Rodrigues

Dezembro/2006

Orientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira

Curso: Engenharia de Produção

O trabalho "Otimização do Seqüenciamento de Produção em uma Ferrovia através de Técnicas de *Scheduling*" aborda a apresentação de uma ferramenta de otimização do seqüenciamento de produção e sua contextualização dentro de uma metodologia do planejamento de operações de uma empresa de transporte ferroviário, a MRS Logística. A Grade de Trens de Carga Geral representa esse seqüenciamento da produção e é de importância estratégica e tática e afeta tanto a operação quanto o atendimento ao cliente. A melhoria dessa grade é a proposta central desse estudo, sendo um dos principais pontos para se atingir a eficiência operacional demandada pela companhia a substituição de análises intrínsecas e subjetivas por métodos matemáticos e estatísticos de solução de problemas. Por outro lado, a utilização de tais modelos matemáticos fora do contexto ao qual a análise está compreendida mostra-se inócuo para a melhoria de processos. Dessa forma, o trabalho em questão inclui ambas as perspectivas e propõe uma metodologia completa para a revisão da Grade de Trens de Carga Geral da MRS Logística, utilizando o estado da arte no que se refere às técnicas de *Scheduling*.

Palavras-chaves: planejamento, otimização, *scheduling*, metodologia, ferrovia.

Abstract of monograph presented to Department of Production Engineering as a partial fulfillment of the requirements for the undergraduate degree

OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION SEQUENCE IN A RAILROAD THROUGH SCHEDULING TECHNIQUES

Diogo Antonio Rodrigues

December/2006

Advisors: Fernando Marques de Almeida Nogueira

Department: Production Engineering

The paper “Optimization of the Production Sequence in a Railroad through Scheduling Techniques” approaches the presentation of a production sequence optimization tool and its context in an operation planning methodology on a railroad company, the MRS Logística SA. The Train Scheduling represents the production sequence and it has a strategical and tactical importance to the company, affecting the operation and the client attendance. The improvement of this schedule is the major proposal on this work, and it is one of the main points to reach the operation efficiency demanded by the company. The substitution of intrinsic and subjective analysis by mathematical and statistical methods of solving problems is a basic step to guarantee the necessary improvement. In the other hand, the use of mathematical methods without human analysis shows itself innocuous to develop the process. So, this work includes both perspectives and suggests a complete plan of the Train Scheduling revision, using the state-of-art of Scheduling Optimization Techniques.

Key words: planning, optimization, scheduling, methodology, railroad.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA iii
AGRADECIMENTO iv
RESUMO v
ABSTRACT vi
Capítulo I 1
INTRODUÇÃO 1
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS 1
2. ESCOPO DO TRABALHO 1
3. CONDIÇÕES DE CONTORNO 1
4. JUSTIFICATIVAS 1
5. METODOLOGIA 2
6. CENÁRIO ATUAL – A MRS LOGÍSTICA 3
Capítulo II 9
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9
1. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO 9
2. SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO 11
3. SCHEDULING 13
4. MODELO JOB-SHOP 14
Capítulo III 15
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA 15
1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA 15
2. CARGA GERAL 15
3. A GRADE DE TRENS DE CARGA GERAL 17
Capítulo III 20
FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO DA GRADE DE TRENS 20
1. INTRODUÇÃO 20
2. O ALGORITMO 21
3. ANÁLISE 22
Capítulo IV 24
CONCLUSÃO 24
APÊNDICE 1 – MONTAGEM DO PROBLEMA 26
APÊNDICE 2 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA 26
APÊNDICE 3 – EXEMPLO DE GRADE DE TRENS 34

Capítulo I
INTRODUÇÃO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma pergunta se faz necessária em uma análise do planejamento da produção de qualquer empresa: qual a melhor maneira de se planejar a produção, de forma que se possa produzir o máximo, ao custo mínimo? Ou ainda, qual a seqüência ótima de produção?

Seqüenciamento da produção são formas de tomada de decisão que possuem um papel crucial nas empresas, tanto de manufatura como de serviços. No atual ambiente competitivo, o efetivo seqüenciamento se tornou uma necessidade para sobrevivência no mercado. Companhias devem esforçar-se ao máximo para cumprir os prazos firmados com seus clientes. O fracasso deste comprometimento pode resultar em uma perda significante da imagem da empresa perante os clientes (PINEDO & CHAO,1999).

2. ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho proposto tem por objetivo apresentar uma ferramenta, com apoio de técnicas de otimização, para elaboração da Grade de Trens de Carga Geral, parte componente do planejamento de operações em uma ferrovia, minimizando tempos improdutivos do sistema, sob o contexto do processo de revisão da grade citada.

3. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Este trabalho não tem por objetivo o desenvolvimento e a implantação de um sistema que solucione o problema de elaboração da grade de trens, e sim a apresentação, sob a forma de um programa simplificado, que mostre o método de resolução de um problema desse tipo. Dessa forma, esse estudo apresenta o contexto de revisão de uma grade de trens e o algoritmo que, sendo parte componente desse contexto, facilite o trabalho de revisão e apresente soluções para a definição do problema.

4. JUSTIFICATIVAS

O planejamento de produção, seja de bens ou serviços, passa por uma revolução na sua forma de atuação. O desenvolvimento de técnicas de otimização vem substituindo a análise subjetiva e intrínseca na alocação de recursos e no planejamento das operações em si.

Dessa forma, o engenheiro de produção tem muito a acrescentar nas organizações, pois é o profissional que possui o conhecimento da gestão de processos e, também, do ferramental matemático necessário para o desenvolvimento de modelos que visam a melhoria no planejamento em uma empresa.

O setor ferroviário não foge à regra e assim, também passa pelo processo de desenvolvimento das técnicas citadas. Assim, o estudo desse trabalho visa propor a introdução de um novo processo, munido das citadas técnicas, no planejamento da produção em uma ferrovia.

5. METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido segue o seguinte roteiro de atividades:

a) Revisão Bibliográfica

Esta etapa prevê o levantamento de livros e publicações que auxiliem o desenvolvimento do estudo, nesse momento busca-se o "estado da arte" no tema em questão.

Nesse momento concentra-se na pesquisa por diversos modelos e algoritmos que se adaptem ao problema proposto e se apresentem como solução para tal.

b) Coleta dos dados

A segunda etapa visa a coleta dos dados necessários e a análise dos mesmos. Ressalta-se que a MRS Logística, empresa foco do trabalho, possui um vasto número de dados, então se torna uma tarefa importante a transformação desses dados em informações relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

c) Apresentação da ferramenta de otimização

Essa etapa propõe a elaboração de uma ferramenta que apóie o desenvolvimento de uma grade de trens de forma a minimizar os problemas operacionais, ou seja, os conflitos dos trens em pátios. Para tal ferramenta de otimização busca-se a utilização das técnicas de *Scheduling*, com o desenvolvimento de um programa baseado em um algoritmo para tal problema.

O programa a ser desenvolvimento baseia-se em Programação Linear Inteira e utiliza o software Lingo. Este software é uma ferramenta que integra uma linguagem para modelagem, um ambiente para construção e edição de problemas e um conjunto de *solvers* (resolvedores).

Ressalta-se que este trabalho não objetiva o desenvolvimento e a implantação de um sistema que solucione o problema de elaboração da grade de trens, e sim a apresentação, sob a forma de um programa simplificado que mostre o método de resolução de um problema desse tipo.

d) Preparação da metodologia para elaboração da grade de trens

A apresentação de uma metodologia consistente para a elaboração do planejamento de operações em trens de Carga Geral é parte componente dessa etapa, sob o ponto de vista dos diversos aspectos necessários a elaboração da grade.

e) Elaboração do relatório final

O relatório é a documentação do estudo e a conclusão de todo o trabalho desenvolvido.

6. CENÁRIO ATUAL – A MRS LOGÍSTICA

A logística pode ser entendida como uma das mais antigas e inerentes atividades humanas na medida em que sua missão principal é a de disponibilizar bens e serviços gerados por uma sociedade, nos locais, no tempo, nas quantidades e na qualidade em que são necessários aos utilizadores. Embora muitas vezes decisiva em operações militares históricas, a sua introdução como atividade empresarial tem sido gradativa ao longo da historia empresarial, de uma simples área de guarda de materiais a uma área estratégica no atual cenário empresarial. (LEITE, 2006)

Ainda segundo LEITE (2006) esta evolução como atividade empresarial é nítida a partir da segunda guerra, quando se evidencia como suporte às novas tecnologias produtivas em empresas industriais. No sistema de produção *just-in-time*, dos ensinamentos de qualidade total de Deming, Juran, Crosby, no qual se substitui a antecipação pela reação à demanda, torna-se fundamental o equacionamento logístico dos fluxos de materiais em toda cadeia de suprimentos. Novos relacionamentos com fornecedores e novas técnicas operacionais são introduzidas tornando-se precursores do que se entende atualmente como *supply chain management*.

No Brasil, o desenvolvimento e importância da logística empresarial tornam-se evidentes a partir de 1990, quando a redução de tarifas de importação em diversos setores econômicos propicia maior internacionalização do país, alterando fortemente o panorama empresarial nacional. Novos padrões de competitividade emergem gradativamente no mercado brasileiro, de forma equivalente àqueles observados nos países mais desenvolvidos, na busca de melhores práticas internacionais. Níveis de serviços elevados e novas práticas de relacionamento com os diversos elos da cadeia produtiva, visando perenizar seus negócios e seus clientes, tornam-se objetivos claros nas empresas atuando no país.

O Brasil, hoje, possui alto potencial de crescimento econômico, especialmente em setores relacionados ao comércio exterior. Porém, alguns gargalos impedem o esperado avanço nessas áreas: problemas de infra-estrutura e logística levam a um quadro desolador. Atualmente, segundo o Centro de Estudos Logísticos (Cel) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, o Brasil gasta 12,8% do PIB com transporte, armazenagem e estoque de produtos; nos Estados Unidos, por exemplo, esse número é bem menor (8,1%).

Ressalta-se que os gargalos da infra-estrutura brasileira ainda não revelaram todo seu potencial de prejuízo, porque a taxa de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) no Brasil está bem abaixo da média dos países emergentes.

Historicamente as ferrovias brasileiras fazem parte desse quadro desolador: as operações das malhas ferroviárias controladas pela RFFSA (Rede Ferroviária Federal) eram ineficientes, devido às más condições de manutenção do sistema ferroviário, implicando em alta incidência de descarrilamentos, atrasos no serviço, longos ciclos de viagem, perda de negócios e baixa produtividade.

Desde a privatização da operação de transporte de cargas da Rede Ferroviária Federal, esta situação tem melhorado drasticamente, com melhorias em praticamente todos os indicadores que medem o desempenho das atividades conduzidas na malha ferroviária.

O trabalho em questão tem como cenário a MRS Logística SA, empresa do setor ferroviário, que opera o trecho de ferrovias que liga Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e que tem experimentado grande salto na produção nos últimos anos.

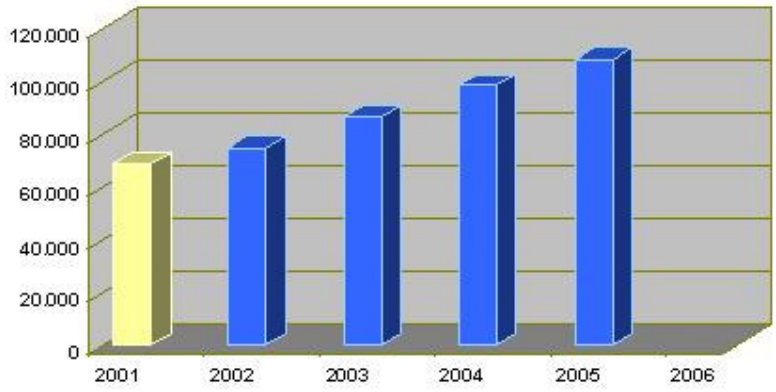

Figura 01 – Produção Anual da MRS Logística (em toneladas)
Fonte: www.mrs.com.br

A malha ferroviária operada pela MRS Logística é geograficamente privilegiada, passando por estados que concentram 67% do PIB brasileiro e interconectando as regiões metropolitanas das cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Suas linhas permitem também o acesso das minas de minério de ferro às principais siderúrgicas (CSN, Cosipa, Açominas e Usiminas) e aos terminais exportadores (Guaíba e Sepetiba). No total, são 1.674 km de via, distribuídas em quatro linhas principais e uma série de pequenos trechos e variantes.

As quatro linhas principais são: a Linha do Centro, a Ferrovia do Aço, a Linha de São Paulo (que juntas pertenciam à antiga Superintendência Regional de Juiz de Fora – SR-3), e a Linha Santos-Jundiaí (a antiga Superintendência Regional de São Paulo - SR-4). A SR-3 compreendia linhas entre São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Já a SR-4 cobria a linha de Santos a Jundiaí, no Estado de São Paulo. A malha ferroviária da MRS é interligada com a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM)

e a América Latina Logística (ALL), oferecendo, com isso, alternativas de transporte para outras regiões do país.

A seguir, pode-se ver o mapa da região Sudeste, com a malha ferroviária da MRS e as conexões existentes com outras malhas ferroviárias e portos:

Figura 02 – Mapa Esquemático da malha da MRS Logística

Fonte: MRS Logística S.A.

A Linha do Centro corre de Belo Horizonte para a cidade do Rio de Janeiro passando por Juiz de Fora, no Estado de Minas Gerais (566km). Trata-se de uma das mais antigas linhas férreas em operação no Brasil, tendo sido reformada na década de 80. Além de ser utilizada para transportar, até o porto do Rio de Janeiro, produtos siderúrgicos com origem na usina mantida pela CSN em Volta Redonda, e cimento e sucata de Minas Gerais, esta linha também é parcialmente utilizada como via de retorno a Minas Gerais de alguns dos trens vazios que transportam minério de ferro para usinas siderúrgicas e portos localizados no Estado de São Paulo e Rio de Janeiro, através da Ferrovia do Aço.

A Ferrovia do Aço corre de Andaime, município de Itabirito, em Minas Gerais, para a localidade de Saudade, município de Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro (370km). Trata-se de uma linha férrea recente, tendo começado a operar em 1989. É a mais movimentada linha da Malha Sudeste, sendo utilizada, basicamente, para o transporte do minério de ferro produzido na região próxima a Belo Horizonte até os portos de Guaíba e Sepetiba, no Rio de Janeiro, e as unidades siderúrgicas da CSN e da Cosipa. O retorno para Minas Gerais dos trens que carregam minério de ferro, conforme referido anteriormente, é freqüentemente realizado por meio da Linha do Centro.

A Linha de São Paulo está situada entre Barra do Piraí, no Estado do Rio de Janeiro, e a cidade de São Paulo (400 km). Nesta linha está incluído o trecho entre Saudade e Barra do Piraí (45 km), que faz conexão com a Ferrovia do Aço e a Linha do Centro e termina por ser um dos trechos mais movimentados da Malha Sudeste. A Linha de São Paulo é utilizada para o transporte de produtos siderúrgicos, cimento, contêineres e minério de ferro (principalmente para a usina da Cosipa em Cubatão).

A Linha Santos-Jundiaí corre pelo Estado de São Paulo, de Jundiaí, até o porto de Santos, passando pela cidade de São Paulo (139 km). Esta linha é muito utilizada para o transporte de cargas em geral (tais como grãos e soja) da região agrícola de São Paulo para o porto de Santos, e de contêineres entre o terminal de Jundiaí e os terminais portuários em Santos. A capacidade desta estrada de ferro é em parte limitada devido à necessidade de utilização do sistema de cremalheira, instalado na descida da Serra do Mar, pelo qual, através do uso de locomotivas elétricas e de um mecanismo de tração situado entre os trilhos, é possível fazer com que vagões sejam transportados por um trecho bastante íngreme entre a base e o alto da serra.

A malha ferroviária da MRS tem conexão direta com os portos do Rio de Janeiro, Santos (ambas as margens), Sepetiba e Guaíba, sendo que no caso destes dois últimos e da margem direita do Porto de Santos com exclusividade em relação a outras empresas ferroviárias. Cerca de 62% do volume total transportado pela malha ferroviária da MRS É embarcado por um desses quatro portos.

O Porto de Santos está localizado no litoral do Estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro, distando 2km do Oceano Atlântico. Por terra, o Porto de Santos pode ser acessado pelas Rodovias SP-055 (rodovia Padre Manoel da Nóbrega), SP-150 (via Anchieta) e SP-160 (Rodovia dos Imigrantes) e pelas malhas ferroviárias da MRS (ambas as margens) e da ALL (margem esquerda). Vários terminais privativos estão instalados no Porto de Santos, dentre os quais destacamos os terminais da Cosipa e Ultrafértil, clientes da MRS. São transportadas pelo Porto de Santos as mais diversas cargas, entre elas adubo, bauxita, trigo, sal, barrilha, cimento, soja, cítricos, açúcar, álcool, óleo vegetal, carne, frutas, madeira, papel, peças para

veículos, produtos siderúrgicos, produtos têxteis, pneus, carvão, minério e produtos químicos em geral. Atingindo tanto a margem direita quanto a margem esquerda do Porto de Santos, a malha ferroviária da MRS é utilizada principalmente no transporte de produtos agrícolas e industriais de exportação/importação.

O Porto do Rio de Janeiro está localizado na costa oeste da Baía de Guanabara, com acessos terrestres pelas Rodovias BR-040, BR-101, BR-116, RJ-071 e RJ-083 e ferroviário pela Malha Sudeste da MRS. Fazem parte do Porto do Rio de Janeiro o Pier Mauá, o Cais da Gamboa, o Cais de São Cristovão, o Cais do Caju e o Terminal de Contêineres – Tecon. Também se situam na zona de jurisdição do Porto do Rio de Janeiro, porém fora dos limites do cais de uso público, cinco terminais privativos. As principais cargas movimentadas no cais são produtos siderúrgicos, papel de imprensa, trigo e contêineres. A MRS faz uso do seu terminal de cargas (Arará) situado às portas do Porto do Rio de Janeiro para operar, em sua maioria, cargas destinadas à exportação, produtos agrícolas e contêineres.

O Porto de Sepetiba está localizado na costa norte da Baía de Sepetiba, no Município de Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro, ao sul e a leste da Ilha da Madeira. O acesso ao porto por terra se dá pela Rodovia BR-101 (Rio-Santos) ou pela Malha Sudeste da MRS. Desde de 1999, a Ferteco opera um terminal privativo no Porto de Sepetiba, para a exportação de minério de ferro. As principais cargas movimentadas no cais do Porto de Sepetiba são carvão metalúrgico, coque de ulha, alumina, enxofre e minério de ferro.

O Porto de Guaíba está localizado na Ilha de Guaíba, na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro, sendo operado pela MBR. O único acesso por terra é através da Malha Sudeste da MRS. A principal carga transportada neste porto é o minério de ferro extraído das minas da MBR localizadas no Estado de Minas Gerais. Em Guaíba, os processos de descarga, feita por viradores de vagões (“car dumpers”), e de carregamento de navios, feitos por “ship loaders” alimentados por correias transportadoras, são altamente mecanizados.

Em relação à concorrência, pode afirmar que o minério de ferro é transportado quase que exclusivamente por via ferroviária. Neste segmento, a única alternativa de transporte à Malha Sudeste é a Estrada de Ferro Vitória - Minas, operada pela CVRD.

Por outro lado, no tocante aos demais segmentos, a principal concorrência decorre não de outras companhias ferroviárias, mas do transporte rodoviário. No chamado Triângulo Econômico Rio – São Paulo – Belo Horizonte, onde se situa a malha da MRS, o tráfego rodoviário é dos mais intensos, sobretudo de carretas pesadas. O tráfego rodoviário de cargas que entram e saem nas principais rodovias de acesso a São Paulo é de cerca de 200 milhões de toneladas, isto é, 50% de tudo o que é movimentado no País.

A grande concentração do transporte de cargas pelas rodovias no Brasil é conseqüência direta da falta de investimentos no transporte ferroviário e da priorização dos

investimentos estatais nas rodovias. Todavia, o modal rodoviário tem como característica um grande número de empresas de transporte e caminhoneiros autônomos, não havendo nenhuma empresa que individualmente detenha parcela significativa do mercado.

Capítulo II
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Em uma companhia, existem diversos níveis de planejamento, desde o planejamento estratégico até o planejamento de serviços de suporte. Em relação à produção em si, o planejamento pode ser desdobrado em planejamento de operações, vendas e estoques (entre os níveis estratégico e tático), os planejamentos da demanda, de distribuição, de estoques e de insumos (em nível tático) e os planejamentos operacionais, de pedidos, programação e de serviços de logística.

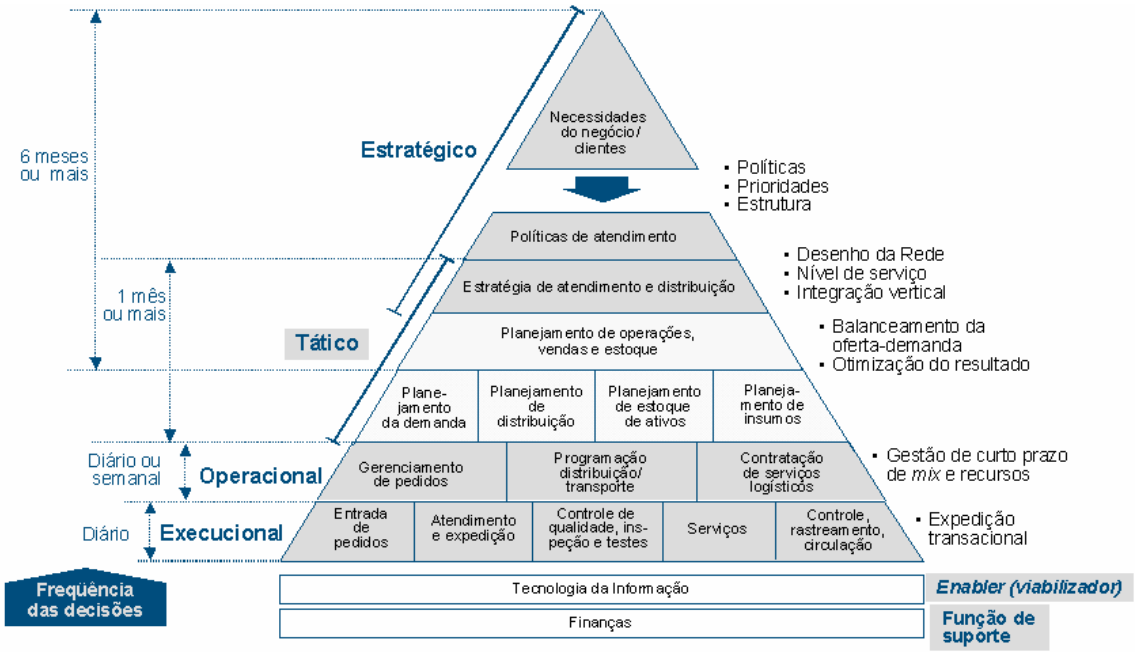

Figura 03 – Pirâmide de Planejamento de uma Companhia

Fonte: FLEURY (2000)

O planejamento da produção, geralmente, segue por uma seqüência de atividades intrínsecas ao processo de planejamento, de acordo com a figura 04. O planejamento de longo prazo é necessário para desenvolver instalações e equipamentos, grandes fornecedores e processos de produção, devendo ser abordado no longo prazo, especialmente com um horizonte de alguns anos.

O planejamento agregado desenvolve planos de produção de médio prazo referentes a emprego, estoque agregado, utilidades, modificações de instalações e contratos de fornecimento de materiais. Esses planos agregados impõem restrições aos planos de produção de curto prazo que se seguem.

Programas mestres de produção são planos de curto prazo para produzir produtos acabados ou itens finais, os quais são usados para impulsionar sistemas de planejamento e controle.

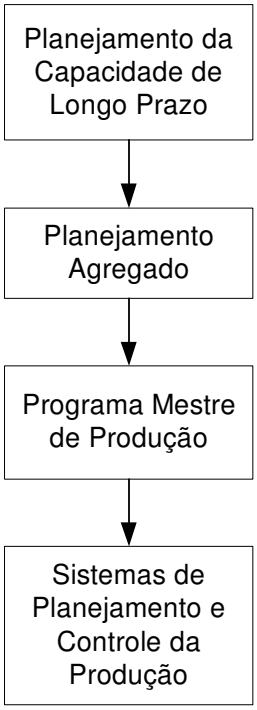

Figura 04 – Processo de Planejamento da Produção

Fonte: CORREA & CORREA (2004)

As técnicas de gestão da produção foram, ao longo do tempo, acompanhando a evolução dos processos produtivos, e em conseqüência, surgindo várias técnicas que permitem atender diferentes tipos de produção. Segundo OLIVEIRA (1999) as técnicas mais utilizadas atualmente nas indústrias e empresas de serviço são:

Kanban: O kanban é um método de regulagem da produção utilizável principalmente quando se tem demanda constante de um item (ou conjunto de itens semelhantes, denominado família ou grupo) e um conjunto de equipamentos dedicados à produção desta família. É uma solução simples para um problema simples, sendo viável quando o problema pode ser simplificado. Este método tem a função de manter um estoque aproximadamente constante de cada item, entre dois centros de trabalho.

Alguns requisitos são fundamentais para o bom funcionamento do kanban, entre eles podemos citar: o tempo de preparação (*setup*) das máquinas deve ser baixo; o centro de trabalho deve ser pouco compartilhado; o consumo deve ser homogêneo; deve existir uma padronização de itens; as flutuações devem ser baixas; baixo tempo de reposição.

Planejamento com Capacidade Finita: No planejamento com capacidade finita os algoritmos localizam cada atividade de forma que não haja superposição com outra no mesmo recurso. São mais complexos e geram resultados melhores, pois havendo capacidade suficiente, o plano é realizável por construção, tendo já sido resolvidos os conflitos pela alocação de recursos, entretanto, nem sempre são viáveis e sua implantação depende da existência de um modelo adequado e da existência de um algoritmo de capacidade finita para este modelo. A existência de um modelo adequado depende da existência de atividades com tempos conhecidos (inclusive *lead-time*). Mesmo que o algoritmo seja possível, ele ainda precisa ser realizado. Os algoritmos de capacidade finita dependem da existência de modelos bastante precisos dos sistemas de manufatura, e do desenvolvimento dos respectivos algoritmos.

Planejamento com Capacidade Infinita - MRP: O MRP (*Material Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades de Materiais), é o sistema de gestão da produção que mais tem sido implantado pelas empresas, desde 1970. Os principais objetivos destes sistemas são permitir o cumprimento dos prazos de entrega com a mínima formação de estoques, planejando as compras e produção de itens componentes, para que ocorram apenas nos momentos e nas quantidades necessárias. O princípio básico do MRP é o cálculo das necessidades, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos da manufatura (materiais, pessoas, equipamentos, etc.), para que se cumpram os programas de entrega de produtos com o mínimo de formação de estoque. Este cálculo é feito a partir das necessidades dos produtos finais. Os sistemas MRP utilizam o *lead time* de cada componente final (previsto no Plano Mestre de Produção) e de seus respectivos itens componentes para a elaboração do processamento do Planejamento das Necessidades de Materiais. O *lead time* é o tempo que decorre desde a entrada das matérias primas (de um item) na fila dos centros de trabalho de seu roteiro, até a saída de um lote deste item. É evidente que o tempo de espera em filas depende da demanda.

2. SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Segundo SLACK (1996), um problema de Seqüenciamento da Produção é “a decisão a ser tomada sobre a ordem em que as tarefas serão executadas”. Essa ordem deve ser definida por um conjunto predefinido de regras, tais como prioridade do cliente, data prometida de entrega e alguns métodos como o LIFO (Último a Entrar, Primeiro a Sair) e o FIFO (Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair).

Segundo PINEDO (1999), “no atual ambiente competitivo, o efetivo escalonamento (seqüenciamento) se tornou uma necessidade para sobrevivência no mercado. Companhias devem esforçar-se ao máximo para cumprir as datas firmadas com seus clientes, o fracasso

deste comprometimento pode resultar em uma perda significante da imagem da empresa perante os clientes".

Uma ferramenta bastante utilizada para o processo de programação é o Gráfico de Gantt. Este gráfico, inventado por H. L. Gantt em 1917, representa o tempo como uma barra num gráfico. Segue um exemplo:

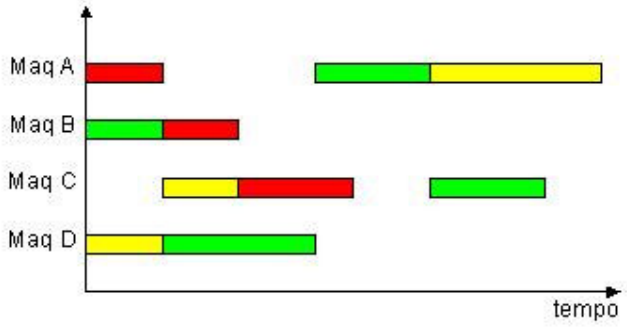

Figura 05 – Gráfico de Gantt

Fonte: SLACK (1996)

No gráfico anterior, o eixo vertical representa as diferentes máquinas, o eixo horizontal o tempo, as barras a duração das atividades de cada produto em cada uma das máquinas e as diferentes barras representam os diversos produtos.

A atividade de programação é uma das mais complexas no gerenciamento da produção. Inicialmente, deve-se lidar com os diversos recursos simultaneamente: as máquinas têm diferentes capacidades, as pessoas têm diferentes habilidades e os processos têm diferentes requisitos. A atividade de seqüenciamento, em si, determina o prazo das atividades a serem cumpridas e a seqüência de cada uma delas, após análise das informações de disponibilidade de equipamentos, matérias-primas, operários, processo de produção, tempos de processamento, prazos e prioridade das ordens de fabricação.

Para o seqüenciamento das atividades, considera-se uma série de elementos que disputam vários recursos por um período de tempo, recursos esses que possuem capacidade limitada. Os elementos a serem processados são chamados de trabalhos (ou *jobs*) e são compostos de partes elementares chamadas atividades ou operações.

O número de programações possíveis cresce rapidamente à medida que o número de atividades e trabalhos aumenta. O número de programações possíveis segue a fórmula seguinte:

$$\text{Número de programações} = (n!)^m$$

Onde: n é o número de trabalhos (ou produtos a serem produzidos)

m é o número de atividades (ou máquinas do processo)

Uma linha de produção com apenas 5 diferentes tipos de produtos (*jobs*) e apenas 5 máquinas possui 24.883.200.000 diferentes programações possíveis.

Segundo Martins (1993) os objetivos da programação e seqüenciamento de produção são:

- Aumentar a utilização de recursos;
- Reduzir o estoque em processo;
- Reduzir o atraso na entrega dos trabalhos.

Assim, uma pergunta se faz necessária: qual dessas programações é a melhor? Ou ainda, qual aspecto deve ser analisado para que uma programação deva ser considerada a melhor?

3. SCHEDULING

Diante da complexidade do problema apresentado, uma ferramenta se mostra necessária para a escolha da melhor programação, ou, em outras palavras, da otimização da programação da produção.

Scheduling é essa ferramenta, largamente utilizada na manufatura e em serviços, que causa um grande impacto na produtividade de todo o sistema produtivo. O objetivo do *Scheduling*, na manufatura, é minimizar o tempo e os custos de produção, dizendo à operação o que fazer, quando fazer e com que recurso fazer. Similarmente, em serviços, tais como transportes, objetiva a maximização da eficiência da operação e a redução de custos.

Modernas ferramentas computacionais de *Scheduling* garantem uma performance infinitamente maior que métodos manuais de seqüenciamento. Fornecendo poderosas interfaces gráficas onde é possível a visualização da programação ótima em tempo real nos mais diversos estágios da produção.

Os benefícios do uso da otimização da programação da produção são diversos, a saber:

- Redução das mudanças de última hora;
- Redução do nível de estoque em processo;
- Redução do esforço de programação;
- Aumento da eficiência da operação;
- Nivelamento da carga de mão-de-obra;
- Aumento na confiabilidade da data de entrega;
- Disponibilização da informação em tempo real.

4. MODELO JOB-SHOP

A maioria dos problemas de programação aplica-se ao ambiente conhecido como *Job Shop.* "O *Job Shop* tradicional é caracterizado por permitir diferentes fluxos das ordens entre as máquinas e diferentes números de operações por ordem, que são processadas apenas uma vez em cada máquina". (OLIVEIRA, 1999)

A modelagem de um problema de *Scheduling*, especialmente os do tipo *Job Shop*, pode ser feita como um problema de Programação. Um problema de Programação é aquele onde existem uma função objetivo (minimizar custos, por exemplo) e restrições que formalizam as necessidades do problema.

Um problema de *Scheduling* pode ser modelado da seguinte forma, segundo JAIN e MEERAN (1998):

- Função objetivo que minimize o tempo total de produção ou a soma do tempo improdutivo de cada *job* (trabalho);
- Restrições de precedência: restrições que garantam a ordem de atividades de cada *job* e a duração de cada uma delas;
- Restrições disjuntivas: que garantam escolha do *job* que deve utilizar cada recurso;
- Outras restrições menos relevantes.

Capítulo III
DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A MRS Logística, como exposto em capítulos anteriores, é uma concessionária que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal. A empresa atua no mercado de transporte ferroviário desde 1996, quando foi constituída, interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. São 1.674 Km de malha numa região que concentra aproximadamente 67% do produto interno bruto do Brasil e estão instalados os maiores complexos industriais do país. O foco das atividades da MRS está no transporte ferroviário de cargas, como minérios, produtos siderúrgicos acabados, cimento, bauxita, produtos agrícolas e contêineres. Diante do objetivo da MRS de alcançar o topo da eficiência operacional para os próximos anos se desenvolve o trabalho em questão.

O transporte de cargas na MRS se divide em dois tipos de operação: Heavy Haul e Carga Geral.

O transporte do tipo Heavy Haul consiste em cargas de maior volume, como por exemplo, minério de ferro e carvão, representando cerca de 72% do volume transportado pela empresa. A operação dessas cargas ocorre pela formação de trens unitários, ou seja, em cada trem existe apenas um produto. Assim, os trens de Heavy Hall circulam como um "carrossel", existindo quatro fases no transporte: carga, circulação do trem carregado, descarga e circulação do trem vazio; não existindo horários fixos para esses trens, que devem partir assim que estiverem carregados (ou descarregados). O planejamento desse tipo de operação é simples, exigindo somente o correto dimensionamento de recursos (locomotivas e vagões).

O transporte do tipo Carga Geral exige um planejamento mais complexo que o de Heavy Haul. Os trens de Carga Geral são formados com diversos produtos de diversos clientes, existindo pontos de carga e descarga ao longo do trecho de circulação. Como exemplo de produtos transportados nesse tipo de operação têm-se produtos siderúrgicos, cimento, areia, soja e ferro-gusa. Os trens de Carga Geral possuem horários fixos de partida e chegada, além de horários pré-estabelecidos de paradas intermediárias.

2. CARGA GERAL

Como grande transportadora de minério de ferro e de produtos siderúrgicos destinados à exportação – aproximadamente 65% do volume total de minério de ferro e 26,8% do volume total de produtos siderúrgicos transportados – a MRS tem significativa parte de sua receita relacionada ao desempenho desses produtos nos mercados

internacionais. Com isso, a demanda de transporte está sujeita a possíveis impactos causados pela retração de tais mercados.

Com o objetivo de minorar os efeitos negativos de tal variação de mercado, para a MRS é interessante estrategicamente o desenvolvimento de um novo *mix* de produtos a serem transportados no mercado doméstico. Nesse novo *mix* estão incluídos os seguintes produtos: bauxita, máquinas, peças e acessórios para diversas indústrias, areia, cimento acondicionado em sacos e a granel, gesso, soja, farelo de soja, trigo, milho, adubos, fertilizantes, *pellets* cítricos, açúcar, sal, enxofre, soda cáustica, resinas, fosfatos, papel e papelão e contêineres, dentre outros. Esses produtos apresentam graus diversos de suscetibilidade em relação a crises econômicas nacionais e internacionais, sendo certo que o transporte de produtos variados reduz o risco apontado acima.

Tabela 01 – Mix de Produção – ano de 2006

AÇÚCAR	1,6%
AREIA	1,1%
BAUXITA	1,4%
CARVÃO / COQUE	2,2%
CIMENTO	1,6%
CONTAINER	1,0%
ENXOFRE	0,7%
FOSFATO	1,0%
GUSA / SUCATA	1,1%
MINÉRIO DE FERRO	68,0%
PROD. SIDERÚRGICO	6,0%
SAL	0,1%
SILICATO	0,0%
SOJA	4,8%
TUBOS	0,2%
DIVERSOS	8,8%

Fonte: www.mrs.com.br

A este conjunto de produtos, incluindo os siderúrgicos, dá-se o nome de Carga Geral, cuja forma de operacionalização foi descrita anteriormente. A seguir uma breve descrição desses produtos e seu atual *status* na companhia:

• Produtos Siderúrgicos: O transporte de produtos siderúrgicos responde por 6,0% da produção da MRS. Dentre os clientes do setor destacam-se Açominas, Cosipa, CSN,

Usiminas, V&M do Brasil, Belgo Mineira e Gerdau. Os produtos siderúrgicos transportados pela MRS destinam-se tanto ao abastecimento do mercado interno, principalmente o de São Paulo, quanto à exportação, realizada pelo Porto de Sepetiba (operado em conjunto pela CSN e pela CVRD) e pelo Porto do Rio de Janeiro. O Porto de Sepetiba dispõe atualmente de terminal pleno de produtos siderúrgicos em cuja instalação é empregada a mais moderna tecnologia disponível no setor. O Porto do Rio, por sua vez, também tem sido bastante modernizado no tocante ao embarque de produtos siderúrgicos, incluindo a instalação de armazém específico, no qual a mercadoria é removida pelo teto, sendo embarcada diretamente no navio.

• Produtos Agrícolas: O transporte de produtos agrícolas corresponde a 6,5% da carga total transportada pela MRS no ano de 2006. Atualmente, este segmento está concentrado em açúcar, soja e farelo de soja, que são transportados dos centros agrícolas até a malha da MRS através das ferrovias da ALL, e, em seguida, através da Malha Sudeste, para o Porto de Santos.

• Cimento: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais são os principais pólos produtores de cimento do país (respondem por 56% da produção nacional). Dos três, apenas Minas Gerais produz em excesso em relação à sua demanda interna, colocando sua produção também nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. O transporte de cimento tem relevante papel na receita da MRS, correspondendo a aproximadamente 1,6% do volume total transportado.

• Containeres e Cargas Nobres: A MRS tem transportado contêineres de cargas das mais diversas naturezas. Dentre seus clientes para este tipo de carga incluem-se, por exemplo, a Armazéns Gerais Columbia S.A., Caravel Serviços de Contêineres S.A., CSN, Itri Ltda., Multiterminais Alfandegados do Brasil Ltda., S. Magalhães S.A. e General Motors do Brasil. No tocante a esta última, a MRS instituiu o serviço denominado "*just in time*", que consiste no transporte ferroviário, de freqüência diária, de peças entre instalações industriais localizadas em São Caetano do Sul e em São José dos Campos, em ambos os sentidos.

3. A GRADE DE TRENS DE CARGA GERAL

Ao conjunto de horários e paradas dos trens de Carga Geral dá-se o nome de Grade de Trens. Nela estão estabelecidos os horários de partida de cada um dos trens, as paradas em pátios intermediários, as atividades a serem desenvolvidas em cada um dos pátios e o horário de chegada no destino final.

N.º	TREM	ORIGEM		DESTINO		TT	FROTA LOCOS	QTD. LOCOS P/	CHEGADA E PARTIDA NOS PÁTIOS ONDE EXISTE PROGRAMA DE ATIVIDADE DO TREM - PAT											
		LOCAL	HORA	LOCAL	HORA				FJC 1,2,3,4		FOJ 2,7		FBB 1		FPU 1,2		FBP 4		HRS 1	
1	KCR01	FDM	1:00	FAR	9:30	32:30	A	3	04:30	06:30	14:00	14:30	19:00	21:00	22:40	01:10	01:25	01:55	06:10	08:10

Figura 06 – Exemplo de Trem da Grade de Carga Geral

Fonte: MRS Logística

O planejamento da operação de Carga Geral é de alta complexidade, pois além do dimensionamento de recursos, como vagões e locomotivas, exige a elaboração da Grade de Trens, que é revista mensalmente. São três os principais aspectos a serem avaliados na elaboração da grade: o conflito entre trens nos pátios, a utilização de recursos e o desdobramento da demanda em função da grade.

O conflito entre trens nos pátios pode ser entendido como a programação de dois trens com parada no mesmo pátio ao mesmo tempo. Caso o pátio não possua capacidade para esses dois trens, um deles deverá aguardar num pátio anterior a finalização das atividades do outro trem para se deslocar para o pátio em questão. Esse problema acarreta no aumento de um indicador operacional importante para a empresa, o Trem Hora-Parada (THP), causando prejuízo devido ao tempo improdutivo do trem.

Outro aspecto avaliado na elaboração da grade é a utilização de recursos, principalmente de locomotivas. Um trem que sai de um pátio em direção a outro pode utilizar as mesmas locomotivas de um trem que faz a rota contrária, caso os horários de chegada e partida dos trens assim permitam. A redução do número de locomotivas necessárias para o cumprimento da grade acarreta na economia do principal ativo da empresa e do recurso escasso da produção.

O terceiro ponto de importante avaliação é o desdobramento da demanda em função dos trens da grade. Uma importante indagação que se coloca é: os trens são suficientes para o transporte de toda a demanda apresentada? Ou ainda, existe ociosidade nos trens previstos? Dessa forma, a determinação da freqüência dos trens e do número de trens em cada rota é vital para o bom atendimento às necessidades dos clientes.

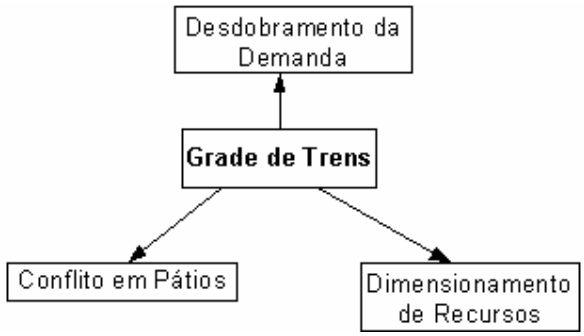

Figura 07 – Contexto da grade de trens

O trabalho aqui descrito se enquadra na metodologia de revisão da grade, feita sob o ponto de vista dos três aspectos apresentados: dimensionamento de recursos, desdobramento da demanda e conflitos em pátios. Como segue no diagrama:

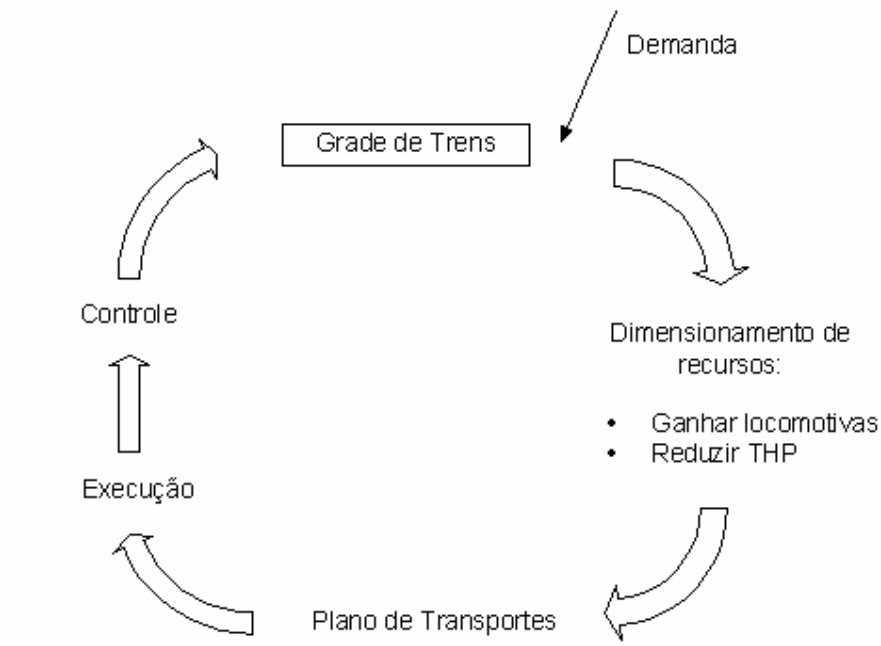

Figura 08 – Processo de revisão da grade de trens

Diante do processo de revisão da grade, algumas avaliações se fazem presentes: a redução ao mínimo de conflitos em pátios para a redução do THP (Trem Hora-Parada) e a alocação de horários na grade que permitam a necessidade de um número mínimo de locomotivas. Estas avaliações devem ser concluídas em tempo hábil para modificações nos trens tão rápidas quanto à necessidade operacional demande. Dessa forma, quaisquer mudanças no cenário de demanda apresentado geram um retrabalho na avaliação da grade. Assim rapidez e confiabilidade devem ser os principais pilares do processo de elaboração da grade de trens.

Capítulo III
FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO DA GRADE DE TRENS

1. INTRODUÇÃO

O trabalho em questão se propõe a apresentar uma solução para o seqüenciamento de trens nos pátios, de forma que o THP (Trem Hora-Parada) causado por congestionamento em pátios seja o menor possível. Essa ferramenta de otimização da grade, utilizando técnicas de *Scheduling*, deve ser inserida no contexto do processo de revisão da Grade de Trens de Carga Geral.

Como descrito anteriormente, o problema da grade de trens pode ser observado sob diferentes pontos de vista: conflito em pátios, utilização de locomotivas e desdobramento da demanda. A ferramenta neste capítulo apresentada aborda somente o aspecto de conflito em pátios, sendo todo o desenvolvimento da otimização avaliado sob esse único ponto de vista.

O problema de elaboração da grade de trens pode ser descrito como um seqüenciamento da produção do tipo *Job-Shop*, uma vez que cada trem (*job*) possui uma seqüência pré-definida de pátios (máquinas), com tempos de operação padrões.

A modelagem do problema, que se apresenta como de Programação Linear Inteira, é estabelecida da seguinte forma:

- Função Objetivo: minimizar o *transit time* (tempo total de circulação) de todos os trens, que pode ser entendido como a soma do tempo de duração de cada atividade com o tempo improdutivo de cada trem;
- Restrições de Tempo Iniciais: que garantam tempos maiores que zero;
- Restrições de Precedência: garantem a ordem correta dos pátios para cada trem;
- Restrições Disjuntivas: que garantam a escolha de qual trem deve ocupar o pátio;
- Restrições que garantam que o tempo total de cada trem (*Transit Time*) seja maior que seu tempo inicial mais a duração de suas atividades.

Matematicamente:

Minimizar ΣC_i sujeito a:		
- Restrições Iniciais: $t_{ik} \geq 0$		(3.1)
- Restrições de precedência: $t_{ik} - t_{ih} \geq D_{ih}$	se O_{ih} precede O_{ik}	(3.2)
- Restrições disjuntivas:		
$t_{pk} - t_{ik} + K(1-y_{ipk}) \geq D_{ik}$	$y_{ipk} = 1$, se O_{ik} precede O_{pk}	(3.3)
$t_{ik} - t_{pk} + K(y_{ipk}) \geq D_{pk}$	$y_{ipk} = 0$, caso contrário	(3.4)
- Restrições de *delay*: $C_i - t_{ik} \geq D_{ik}$		(3.5)

Onde:

i, p são trens (*jobs*)

k, h são pátios (máquinas)

C_i é o tempo total de duração do trem (*transit time*) do trem i

O_{ik} é a operação do trem i no pátio k

t_{ik} é o tempo que o trem i inicia a operação no pátio k

D_{ik} é a duração da operação do trem i no pátio k

y_{ipk} é a variável binária que indica se o trem i ou p inicia primeiro sua operação no pátio k

K é um número grande que garanta as restrições disjuntivas

No estudo desenvolvido, o modelo utilizado contempla um número limitado de trens e permite a visualização de somente um pátio a ser concorrido pelos trens, uma vez que o escopo desse trabalho está delineado somente para apresentação de um algoritmo que seja passível de solucionar o problema aqui ponderado, e não o programa que apresente a solução do problema.

Esta proposta se sustenta na alta complexidade do problema sugerido e, com a utilização de um modelo restrito, não há perdas na avaliação dos resultados e permite a validação do modelo e do algoritmo usados.

2. O ALGORITMO

O trabalho aqui apresentado se refere a um modelo simplificado da Grade de Trens de Carga Geral da MRS Logística. No exemplo que se segue, o programa contempla apenas 7 trens da grade, são eles:

- KCR: trem com origem no pátio de Joaquim Murtinho (Conselheiro Lafaiete – MG) e destino no pátio do Arará (Rio de Janeiro – RJ);
- RER: trem com origem no pátio de Barreiro (Belo Horizonte – MG) e destino no Arará;
- KPR: trem com origem no pátio de Manoel Feio (Itaquaquecetuba – SP) e destino final no Arará;
- KOR: trem com origem no pátio de Dias Tavares (Juiz de Fora – MG) e destino no Arará;
- KRC: trem com origem no Arará e destino em Joaquim Murtinho;
- KRE: trem com origem no Arará e destino no Barreiro;
- RRE: trem com origem no Arará e destino em Barreiro.

Para o modelo em questão foram utilizados apenas os trens com origem ou destino no pátio do Arará, que permite acesso ao porto do Rio de Janeiro e se apresenta como um dos principais gargalos operacionais de toda a malha ferroviária. Este pátio apresenta capacidade para somente um trem por vez e a duração das manobras de cada trem possui média de 3 horas e meia, exceto o trem RER que apresenta duração média de permanência de 3 horas.

Ainda sobre o modelo usado no exemplo, os trens somente disputarão o pátio do Arará, assim aqui se utiliza para os demais pátios o conceito de recurso infinito, como se não houvesse restrição operacional para a limitação no número de trens. Essa premissa se justifica para que se possa ter uma avaliação do algoritmo utilizado de forma simplificada e focado em um único recurso, no caso o pátio do Arará.

Outra premissa utilizada está relacionada aos tempos iniciais. Nos trens com partida do pátio do Arará estes devem ser maiores que 24 horas para que se possa analisar os conflitos causados com as chegadas dos trens de origem Dias Tavares, Barreiro, Manoel Feio e Joaquim Murtinho que chegam ao pátio do Arará no dia seguinte às suas respectivas saídas.

O programa foi estruturado segundo a teoria de JAIN e MEERAN (1998), adaptado para a realidade do processo de produção de uma ferrovia como descrito anteriormente. Em anexo segue a sintaxe do programa usada sob a forma do programa Lingo, conforme sugerida na metodologia utilizada.

A resolução do problema se dá por Programação Linear Inteira segundo os métodos de resolução *Branch-and-Bound* do software especifico empregado, não sendo parte componente do escopo desse estudo.

3. ANÁLISE

A solução apresentada se coloca como a que minimiza a soma dos tempos totais de percurso de cada trem, garantindo a premissa colocada de capacidade do pátio do Arará de somente uma manobra de trem em cada momento (única restrição apresentada).

Este problema, sob a forma simplificada montada possui 57 variáveis, sendo 21 destas inteiras. Para sua resolução, usando o método *Branch-and-Bound* foram necessárias 12.554 iterações.

Segue grade apresentada como solução ótima:

N.º	TREM	ORIGEM		PARADAS INTERMEDIÁRIAS		DESTINO		TT
		LOCAL	HORA	LOCAL	HORA	LOCAL	HORA	
1	KCR01	FDM	2:00	FBB	20:00	FAR	13:30	35:30
2	RER01	FBO	2:00			FAR	10:00	32:00
3	KPR01	IEF	2:00	FBB	22:00	FAR	17:00	39:00
4	KRC01	FAR	7:00			FDM	13:30	30:30
5	KRE01	FAR	3:30	FDM	5:30	FBO	11:30	32:00
6	RRE01	FAR	0:00	FDM	3:30	FBO	1:30	25:30
7	KOR01	FDT	2:00			FAR	20:30	42:30

Figura 9 – Grade de Trens Ótima

Os *Transit Times* (tempo total de circulação) somados de todos os trens é igual a 237 horas, este número é apresentado como o menor possível dado a restrição de capacidade de pátio inserida no programa. Outro ponto de vista passível de análise é o gráfico de ocupação do pátio do Arará:

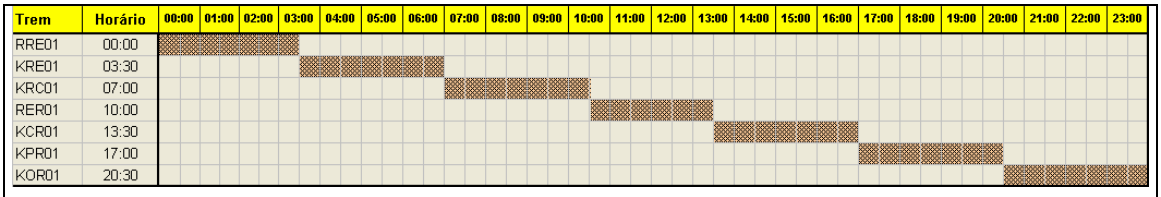

Figura 10 – Ocupação do pátio do Arará

Observa-se que o gráfico segue fielmente a capacidade do pátio de somente uma manobra de trem em cada momento e, também, os tempos de manobra inseridos como dados no programa.

A solução do problema, então, atinge o objetivo esperado validando o modelo e o algoritmo usados. Esta solução, no formato da sintaxe do programa utilizado segue em anexo.

Capítulo IV
CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido cumpriu com seu objetivo estabelecido, apresentando uma ferramenta de otimização que seja capaz de solucionar o problema de elaboração da Grade de Trens de carga Geral sob o aspecto da minimização dos tempos improdutivos destes trens causados por congestionamentos nos pátios de operação da malha ferroviária, inserindo essa ferramenta no amplo contexto de revisão da grade citada.

O estudo apresentado valida a utilização do algoritmo de JAIN e MEERAN (1998) para a otimização do problema citado, sendo este aplicado ao modelo de *Scheduling* do tipo *Job-Shop*, conforme citado anteriormente.

Dessa forma, a implantação de um sistema que solucione as questões apresentadas é passível de implantação, devendo ser proposto um projeto específico para essa tarefa, uma vez que o problema de revisão da grade de trens completa, com todos os trens e todos os pátios da malha é de alta complexidade e necessita de um vasto número de informações que devem ser explicitadas para sua correta introdução no modelo proposto. Porém este trabalho mostra que é possível tal sistema e que este é capaz de apresentar a solução ótima do problema.

É interessante citar que o desenvolvimento de estudos desse nível é fundamental para o aprimoramento do planejamento e programação da produção em empresas dos diferentes ramos de atuação, pois a análise computacional permite a confiabilidade na apresentação da resposta como a melhor possível, diferente da solução encontrada por meio de análises subjetivas provenientes do raciocínio humano.

Um problema encontrado no desenvolvimento de estudos desse tipo é a transformação do conhecimento tácito das pessoas envolvidas no processo para informações explícitas que possam ser inseridas em qualquer modelo.

Dessa forma, conclui-se que o trabalho desenvolvido cumpriu com o escopo delineado e proporcionou um aprendizado importante para o autor dessa monografia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

PINEDO, M., 1995, *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems.* 2 ed. Prentice-Hall.

HILLIER, F.S; LIEBERMAN, G. J., 2002, *Introduction to Operations Research*. Seventh Edition. McGraw Hill.

FERNANDO MARTINELI LOUREIRO, 1999, *Desenvolvimento de um Gerador de "Scheduling" para uma Indústria de Produção sob Encomenda: Uma Abordagem Baseada no Uso de Controladores Difusos e Algoritmos Genéticos*.

PINEDO, M & CHAO, X., 1999, *Operations Scheduling With Applications in Manufacturing and Services;* Irwin McGrawn-Hill, 1999.

CORREA, H. L. & CORREA, C. A., 2004, *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Atlas.

TAHA, H. A., 2002, *Operations Research: An Introduction*. 7th Edition. Prentice Hall.

BALLOU, R. H., 1993, *Logística Empresarial.* Editora Atlas.

BALLOU, R. H., 1993, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.* Editora Atlas.

FLEURY, P. F., & OUTROS, 2000, *Logística Empresarial: Perspectiva Brasileira*. Ed. Atlas

JAIN, A. N. & MEERAN S., 1998, *A State-of-the-Art Review of Job-Shop Scheduling Techniques*.

SLACK, N. & OUTROS, 1996, *Administração da Produção*. Editora Atlas.

OLIVEIRA, R. L., 1999, *Escalonamento de um Job-Shop: um Algoritmo com Regras Heurísticas.*

LEITE, P. R., 2006, *Uma área estratégica no atual cenário empresarial.*

Revista Ferroviária, www.revistaferroviaria.com.br, (consulta: junho/2006).

MRS Logística, www.mrs.com.br, (consulta: setembro/2006).

APÊNDICE 1 – MONTAGEM DO PROBLEMA

```
!MONTAGEM DO PROBLEMA NO SOFTWARE LINGO;

!DADOS;

D_KCR_FDM = 2;
D_KCR_FDM_FBB = 18;
D_KCR_FBB = 2;
D_KCR_FBB_FAR = 12;
D_KCR_FAR = 3.5;

D_RER_FBO = 2;
D_RER_FBO_FAR = 30;
D_RER_FAR = 3;

D_KPR_IEF = 2;
D_KPR_IEF_FBB = 18;
D_KPR_FBB = 2;
D_KPR_FBB_FAR = 12;
D_KPR_FAR = 3.5;

D_KRC_FAR = 3.5;
D_KRC_FAR_FDM = 27;
D_KRC_FDM = 2;

D_KRE_FAR = 3.5;
D_KRE_FAR_FDM = 30;
D_KRE_FDM = 2;
D_KRE_FDM_FBO = 6;
D_KRE_FBO = 2;

D_RRE_FAR = 3.5;
D_RRE_FAR_FDM = 24;
D_RRE_FDM = 2;
D_RRE_FDM_FBO = 6;
D_RRE_FBO = 2;

D_KOR_FDT = 2;
D_KOR_FDT_FAR = 30;
D_KOR_FAR = 3.5;

@BIN(Y_KPR_RER);
@BIN(Y_KPR_KOR);
@BIN(Y_KPR_KCR);
@BIN(Y_KPR_KRC);
@BIN(Y_KPR_RRE);
@BIN(Y_KPR_KRE);

@BIN(Y_RER_KOR);
@BIN(Y_RER_KCR);
@BIN(Y_RER_KRC);
@BIN(Y_RER_RRE);
@BIN(Y_RER_KRE);

@BIN(Y_KOR_KCR);
@BIN(Y_KOR_KRC);
@BIN(Y_KOR_RRE);
@BIN(Y_KOR_KRE);

@BIN(Y_KCR_KRC);
```

```
@BIN(Y_KCR_RRE);
@BIN(Y_KCR_KRE);

@BIN(Y_KRC_RRE);
@BIN(Y_KRC_KRE);

@BIN(Y_RRE_KRE);

!FUNCAO OBJETIVO;

MIN = C_KPR + C_RER + C_KOR + C_KCR + C_KRC + C_RRE + C_KRE;


!RESTRICOES;

!RESTRICOES INICIAIS;

T_KCR_FDM > 0;
T_KCR_FDM_FBB > 0;
T_KCR_FBB > 0;
T_KCR_FBB_FAR > 0;
T_KCR_FAR > 0;

T_RER_FBO > 0;
T_RER_FBO_FAR > 0;
T_RER_FAR > 0;

T_KPR_IEF > 0;
T_KPR_IEF_FBB > 0;
T_KPR_FBB > 0;
T_KPR_FBB_FAR > 0;
T_KPR_FAR > 0;

T_KRC_FAR > 24;
T_KRC_FAR_FDM > 24;
T_KRC_FDM > 24;

T_KRE_FAR > 24;
T_KRE_FAR_FDM > 24;
T_KRE_FDM > 24;
T_KRE_FDM_FBO > 24;
T_KRE_FBO > 24;

T_RRE_FAR > 24;
T_RRE_FAR_FDM > 24;
T_RRE_FDM > 24;
T_RRE_FDM_FBO > 24;
T_RRE_FBO > 24;

T_KOR_FDT > 0;
T_KOR_FDT_FAR > 0;
T_KOR_FAR > 0;


!RESTRICOES DE PRECEDENCIA;
!KCR;
T_KCR_FDM_FBB - T_KCR_FDM >= D_KCR_FDM;
T_KCR_FBB - T_KCR_FDM_FBB >= D_KCR_FDM_FBB;
T_KCR_FBB_FAR - T_KCR_FBB >= D_KCR_FBB;
T_KCR_FAR - T_KCR_FBB_FAR >= D_KCR_FBB_FAR;
```

```
!RER;
T_RER_FBO_FAR - T_RER_FBO >= D_RER_FBO;
T_RER_FAR - T_RER_FBO_FAR >= D_RER_FBO_FAR;

!KPR;
T_KPR_IEF_FBB - T_KPR_IEF >= D_KPR_IEF;
T_KPR_FBB - T_KPR_IEF_FBB >= D_KPR_IEF_FBB;
T_KPR_FBB_FAR - T_KPR_FBB >= D_KPR_FBB;
T_KPR_FAR - T_KPR_FBB_FAR >= D_KPR_FBB_FAR;

!KOR;
T_KOR_FDT_FAR - T_KOR_FDT >= D_KOR_FDT;
T_KOR_FAR - T_KOR_FDT_FAR >= D_KOR_FDT_FAR;

!KRE;
T_KRE_FAR_FDM - T_KRE_FAR >= D_KRE_FAR;
T_KRE_FDM - T_KRE_FAR_FDM >= D_KRE_FAR_FDM;
T_KRE_FDM_FBO - T_KRE_FDM >= D_KRE_FDM;
T_KRE_FBO - T_KRE_FDM_FBO >= D_KRE_FDM_FBO;

!RRE;
T_RRE_FAR_FDM - T_RRE_FAR >= D_RRE_FAR;
T_RRE_FDM - T_RRE_FAR_FDM >= D_RRE_FAR_FDM;
T_RRE_FDM_FBO - T_RRE_FDM >= D_RRE_FDM;
T_RRE_FBO - T_RRE_FDM_FBO >= D_RRE_FDM_FBO;

!KRC;
T_KRC_FAR_FDM - T_KRC_FAR >= D_KRC_FAR;
T_KRC_FDM - T_KRC_FAR_FDM >= D_KRC_FAR_FDM;


!RESTRICOES DISJUNTIVAS;
T_KPR_FAR - T_RER_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_RER)) >= D_KPR_FAR;
T_RER_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_RER) >= D_RER_FAR;

T_KPR_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_KOR)) >= D_KPR_FAR;
T_KOR_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_KOR) >= D_KOR_FAR;

T_KPR_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_KCR)) >= D_KPR_FAR;
T_KCR_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_KCR) >= D_KCR_FAR;

T_KPR_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_KRC)) >= D_KPR_FAR;
T_KRC_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_KRC) >= D_KRC_FAR;

T_KPR_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_RRE)) >= D_KPR_FAR;
T_RRE_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_RRE) >= D_RRE_FAR;

T_KPR_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KPR_KRE)) >= D_KPR_FAR;
T_KRE_FAR - T_KPR_FAR + (10000 * Y_KPR_KRE) >= D_KRE_FAR;


T_RER_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * (1 - Y_RER_KOR)) >= D_RER_FAR;
T_KOR_FAR - T_RER_FAR + (10000 * Y_RER_KOR) >= D_KOR_FAR;

T_RER_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * (1 - Y_RER_KCR)) >= D_RER_FAR;
T_KCR_FAR - T_RER_FAR + (10000 * Y_RER_KCR) >= D_KCR_FAR;

T_RER_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * (1 - Y_RER_KRC)) >= D_RER_FAR;
T_KRC_FAR - T_RER_FAR + (10000 * Y_RER_KRC) >= D_KRC_FAR;

T_RER_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * (1 - Y_RER_RRE)) >= D_RER_FAR;
```

```
T_RRE_FAR - T_RER_FAR + (10000 * Y_RER_RRE) >= D_RRE_FAR;

T_RER_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_RER_KRE)) >= D_RER_FAR;
T_KRE_FAR - T_RER_FAR + (10000 * Y_RER_KRE) >= D_KRE_FAR;


T_KOR_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * (1 - Y_KOR_KCR)) >= D_KOR_FAR;
T_KCR_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * Y_KOR_KCR) >= D_KCR_FAR;

T_KOR_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * (1 - Y_KOR_KRC)) >= D_KOR_FAR;
T_KRC_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * Y_KOR_KRC) >= D_KRC_FAR;

T_KOR_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KOR_RRE)) >= D_KOR_FAR;
T_RRE_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * Y_KOR_RRE) >= D_RRE_FAR;

T_KOR_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KOR_KRE)) >= D_KOR_FAR;
T_KRE_FAR - T_KOR_FAR + (10000 * Y_KOR_KRE) >= D_KRE_FAR;


T_KCR_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * (1 - Y_KCR_KRC)) >= D_KCR_FAR;
T_KRC_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * Y_KCR_KRC) >= D_KRC_FAR;

T_KCR_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KCR_RRE)) >= D_KCR_FAR;
T_RRE_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * Y_KCR_RRE) >= D_RRE_FAR;

T_KCR_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KCR_KRE)) >= D_KCR_FAR;
T_KRE_FAR - T_KCR_FAR + (10000 * Y_KCR_KRE) >= D_KRE_FAR;


T_KRC_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KRC_RRE)) >= D_KRC_FAR;
T_RRE_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * Y_KRC_RRE) >= D_RRE_FAR;

T_KRC_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_KRC_KRE)) >= D_KRC_FAR;
T_KRE_FAR - T_KRC_FAR + (10000 * Y_KRC_KRE) >= D_KRE_FAR;


T_RRE_FAR - T_KRE_FAR + (10000 * (1 - Y_RRE_KRE)) >= D_RRE_FAR;
T_KRE_FAR - T_RRE_FAR + (10000 * Y_RRE_KRE) >= D_KRE_FAR;

!RESTRICOES DE DELAY;
C_KPR - T_KPR_FAR >= D_KPR_FAR;
C_RER - T_RER_FAR >= D_RER_FAR;
C_KOR - T_KOR_FAR >= D_KOR_FAR;
C_KCR - T_KCR_FAR >= D_KCR_FAR;
C_KRC - T_KRC_FDM >= D_KRC_FDM;
C_RRE - T_RRE_FBO >= D_RRE_FBO;
C_KRE - T_KRE_FBO >= D_KRE_FBO;
```

APÊNDICE 2 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO PROBLEMA

```
Global optimal solution found at iteration:        12554
  Objective value:                                366.5000
```

Variable	Value	Reduced Cost
D_KCR_FDM	2.000000	0.000000
D_KCR_FDM_FBB	18.00000	0.000000
D_KCR_FBB	2.000000	0.000000
D_KCR_FBB_FAR	12.00000	0.000000
D_KCR_FAR	3.500000	0.000000
D_RER_FBO	2.000000	0.000000
D_RER_FBO_FAR	30.00000	0.000000
D_RER_FAR	3.000000	0.000000
D_KPR_IEF	2.000000	0.000000
D_KPR_IEF_FBB	18.00000	0.000000
D_KPR_FBB	2.000000	0.000000
D_KPR_FBB_FAR	12.00000	0.000000
D_KPR_FAR	3.500000	0.000000
D_KRC_FAR	3.500000	0.000000
D_KRC_FAR_FDM	27.00000	0.000000
D_KRC_FDM	2.000000	0.000000
D_KRE_FAR	3.500000	0.000000
D_KRE_FAR_FDM	30.00000	0.000000
D_KRE_FDM	2.000000	0.000000
D_KRE_FDM_FBO	6.000000	0.000000
D_KRE_FBO	2.000000	0.000000
D_RRE_FAR	3.500000	0.000000
D_RRE_FAR_FDM	24.00000	0.000000
D_RRE_FDM	2.000000	0.000000
D_RRE_FDM_FBO	6.000000	0.000000
D_RRE_FBO	2.000000	0.000000
D_KOR_FDT	2.000000	0.000000
D_KOR_FDT_FAR	30.00000	0.000000
D_KOR_FAR	3.500000	0.000000
Y_KPR_RER	1.000000	0.000000
Y_KPR_KOR	0.000000	-10000.00
Y_KPR_KCR	1.000000	20000.00
Y_KPR_KRC	1.000000	0.000000
Y_KPR_RRE	1.000000	0.000000
Y_KPR_KRE	1.000000	0.000000
Y_RER_KOR	0.000000	0.000000
Y_RER_KCR	0.000000	-30000.00
Y_RER_KRC	1.000000	40000.00
Y_RER_RRE	1.000000	0.000000
Y_RER_KRE	1.000000	0.000000
Y_KOR_KCR	1.000000	0.000000
Y_KOR_KRC	1.000000	0.000000
Y_KOR_RRE	1.000000	0.000000
Y_KOR_KRE	1.000000	0.000000
Y_KCR_KRC	1.000000	0.000000
Y_KCR_RRE	1.000000	0.000000
Y_KCR_KRE	1.000000	0.000000
Y_KRC_RRE	1.000000	0.000000
Y_KRC_KRE	1.000000	50000.00
Y_RRE_KRE	0.000000	-60000.00
C_KPR	44.50000	0.000000
C_RER	37.00000	0.000000
C_KOR	48.00000	0.000000
C_KCR	41.00000	0.000000

C_KRC	63.50000	0.000000
C_RRE	61.50000	0.000000
C_KRE	71.00000	0.000000
T_KCR_FDM	0.000000	0.000000
T_KCR_FDM_FBB	2.000000	0.000000
T_KCR_FBB	20.00000	0.000000
T_KCR_FBB_FAR	22.00000	0.000000
T_KCR_FAR	37.50000	0.000000
T_RER_FBO	0.000000	0.000000
T_RER_FBO_FAR	2.000000	0.000000
T_RER_FAR	34.00000	0.000000
T_KPR_IEF	0.000000	0.000000
T_KPR_IEF_FBB	2.000000	0.000000
T_KPR_FBB	20.00000	0.000000
T_KPR_FBB_FAR	22.00000	0.000000
T_KPR_FAR	41.00000	0.000000
T_KRC_FAR	31.00000	0.000000
T_KRC_FAR_FDM	34.50000	0.000000
T_KRC_FDM	61.50000	0.000000
T_KRE_FAR	27.50000	0.000000
T_KRE_FAR_FDM	31.00000	0.000000
T_KRE_FDM	61.00000	0.000000
T_KRE_FDM_FBO	63.00000	0.000000
T_KRE_FBO	69.00000	0.000000
T_RRE_FAR	24.00000	0.000000
T_RRE_FAR_FDM	27.50000	0.000000
T_RRE_FDM	51.50000	0.000000
T_RRE_FDM_FBO	53.50000	0.000000
T_RRE_FBO	59.50000	0.000000
T_KOR_FDT	0.000000	0.000000
T_KOR_FDT_FAR	2.000000	0.000000
T_KOR_FAR	44.50000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	-4.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	-5.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	-3.000000
14	0.000000	-6.000000
15	0.000000	-1.000000
16	0.000000	-1.000000
17	0.000000	-7.000000
18	0.000000	-1.000000
19	0.000000	-1.000000
20	0.000000	-1.000000
21	0.000000	-1.000000
22	0.000000	-1.000000
23	0.000000	-1.000000
24	0.000000	-1.000000
25	0.000000	-1.000000
26	0.000000	-1.000000
27	0.000000	0.000000

28	0.000000	0.000000
29	0.000000	-2.000000
30	366.5000	-1.000000
31	0.000000	0.000000
32	2.000000	0.000000
33	20.00000	0.000000
34	22.00000	0.000000
35	37.50000	0.000000
36	0.000000	0.000000
37	2.000000	0.000000
38	34.00000	0.000000
39	0.000000	0.000000
40	2.000000	0.000000
41	20.00000	0.000000
42	22.00000	0.000000
43	41.00000	0.000000
44	7.000000	0.000000
45	10.50000	0.000000
46	37.50000	0.000000
47	3.500000	0.000000
48	7.000000	0.000000
49	37.00000	0.000000
50	39.00000	0.000000
51	45.00000	0.000000
52	0.000000	-7.000000
53	3.500000	0.000000
54	27.50000	0.000000
55	29.50000	0.000000
56	35.50000	0.000000
57	0.000000	0.000000
58	2.000000	0.000000
59	44.50000	0.000000
60	0.000000	0.000000
61	0.000000	0.000000
62	0.000000	0.000000
63	3.500000	0.000000
64	0.000000	0.000000
65	2.000000	0.000000
66	0.000000	0.000000
67	0.000000	0.000000
68	0.000000	0.000000
69	7.000000	0.000000
70	0.000000	0.000000
71	12.50000	0.000000
72	0.000000	-1.000000
73	0.000000	-1.000000
74	0.000000	-1.000000
75	0.000000	-1.000000
76	0.000000	-1.000000
77	0.000000	-1.000000
78	0.000000	-1.000000
79	0.000000	-1.000000
80	0.000000	-1.000000
81	0.000000	-1.000000
82	3.500000	0.000000
83	9990.000	0.000000
84	9993.000	0.000000
85	0.000000	-1.000000
86	0.000000	-2.000000
87	9993.000	0.000000
88	6.500000	0.000000

89	9986.500	0.000000
90	13.50000	0.000000
91	9979.500	0.000000
92	10.00000	0.000000
93	9983.000	0.000000
94	9986.500	0.000000
95	7.000000	0.000000
96	9993.500	0.000000
97	0.000000	-3.000000
98	0.000000	-4.000000
99	9993.500	0.000000
100	7.000000	0.000000
101	9986.500	0.000000
102	3.500000	0.000000
103	9990.000	0.000000
104	3.500000	0.000000
105	9989.500	0.000000
106	10.00000	0.000000
107	9983.000	0.000000
108	17.00000	0.000000
109	9976.000	0.000000
110	13.50000	0.000000
111	9979.500	0.000000
112	3.000000	0.000000
113	9990.000	0.000000
114	10.00000	0.000000
115	9983.000	0.000000
116	6.500000	0.000000
117	9986.500	0.000000
118	3.500000	0.000000
119	9989.500	0.000000
120	0.000000	-5.000000
121	9993.000	0.000000
122	9993.000	0.000000
123	0.000000	-6.000000
124	0.000000	-1.000000
125	0.000000	-1.000000
126	0.000000	-1.000000
127	0.000000	-1.000000
128	0.000000	-1.000000
129	0.000000	-1.000000
130	0.000000	-1.000000

APÊNDICE 3 – EXEMPLO DE GRADE DE TRENS

Planejamento de Trens de Carga Geral

N.º	TREM	ORIGEM		DESTINO		TT	FROTA LOCOS	QTD. LOCOS P/ TREM	CHEGADA E PARTIDA NOS PÁTIOS ONDE EXISTE PROGRAMA DE ATIVIDADE DO TREM - PAT	OBSERVAÇÕES
		LOCAL	HORA	LOCAL	HORA					
1	KCP01	FDM	12:00	IEF	22:00	34:00	A	3	FJC 1,2,3,4 14:30 16:30; FOJ 2,7 23:00 23:30; FSE 2,6 02:55 03:55; FCZ 1 07:40 08:00; FRA 2 10:05 10:20; FCT 1 10:45 11:30; FTA 1 12:15 13:15; FSJ 1,2 15:00 15:30; FST 1 18:10 20:00	USIMINAS + AÇOMINAS + ACESITA + GERDAU + TUPI P/ SÃO PAULO (Sobra vgs. RJ poderá ir na cauda, apenas um corte em FCZ)
2	KCR11	FDM	1:30	FAR	10:00	32:30	A	3	FJC 1,2,3,4 05:00 07:00; FOJ 2,7 14:30 15:00; FBB 1 19:30 21:30; FPU 1,2 23:10 01:40; FBP 4 01:55 02:25; HRS 1 06:40 08:40	GUSA Exp. + CIMENTO RJ + ACESITA + AÇOMINAS + TUPI (Sobra vgs. SP poderá ir na cauda, apenas um corte em FBB). Antigo KCR01
3	KCR21	FDM	15:00	FAR	19:00	28:00	B	2	FJC 2,3,4 18:30 20:30; FOJ 2,7 04:00 04:30; FBP 4 10:55 11:25; HRS 1 15:40 17:40	Somente GUSA Exp. Para FAR (Máximo de 30 vgs)
4	KEP01	FBO	9:00	IEF	3:30	42:30	A	2	FJC 1,2,3,4 16:00 18:30; FOJ 2,7 00:45 01:45; FBB 1,2 06:15 08:45; FCZ 1 12:30 12:50; FRA 2 14:50 15:05; FTA 1 16:30 18:30; FSJ 1,2 20:10 21:10; FST 1 00:00 01:40	HOLCIM + SOEICOM + LAFARGE + GERDAU + MANNESMANN-SP
5	KOR11	FDT	2:30	FAR	6:00	27:30	A	2	FPU 1,2 15:30 18:30; FBP 4 18:45 19:15; HRS 1 01:40 04:40	BELGO. Recebe vgs destino Rio em FPU
6	KPE21	IEF	13:00	FBO	13:00	48:00	A	2	FSJ 1,3 16:30 18:10; FCT 1 20:20 20:50; FRA 2 21:10 21:25; FCZ 1 23:10 00:10; FBB 1,2 04:10 06:40; FPU 1 08:50 10:05; FBF 2 17:00 17:15; FDT 1 17:30 18:45; FBC* 1 21:45 23:00; FPE* 1 00:30 01:45; FPK 1,2,5 02:45 04:00; FDM 1 05:00 06:30	(*) Apenas um dos KPE´s param nestes pátios. Proibida a parada para anexação/desanexação dos 2 trens. Sucata GERDAU, Prioridade para lotação de IEF, completar comprimento do trem em FCT; deixar vagões marcados em FPU e Receber vagões em FPU
7	KPE31	IEF	18:30	FBO	16:30	46:00	A	2	FST 1 20:00 22:00; FSJ 1,3 00:00 01:00; FCT 1 03:10 03:50; FRA 2 04:10 04:25; FCZ 1 06:10 07:10; FBB 1,2 11:10 13:10; FBF 2 21:25 21:40; FDT 1 21:55 22:55; FBC* 1 01:55 02:40; FPE* 1 04:40 05:55; FPK 1,2,5 06:55 08:10; FDM 1 09:10 10:40; FAF 1 14:00 14:15; FSO 1 14:55 15:10	Só entra em FBB no caso de supressão do KPE21 ou na ausência de vagões para FBA, FAR ou HIT (Ou seja, na ausência de PAT em FCZ). (*) Apenas um dos KPE´s param nestes pátios. Proibida a parada para anexação/desanexação dos 2 trens
8	KPR11	IEF	6:30	FAR	16:30	34:00	A	2	FSJ 1,3 10:00 12:00; FCA 7 13:00 13:30; FCT 1 16:00 17:30; FRA 2 17:55 18:10; FCZ 1 20:10 21:40; FBB 1 01:40 03:40; FPU 1,2 05:40 07:40; FBP 4 07:55 08:25; HRS 1 13:10 15:10	Antigo KPV11, porém com itinerário prolongado até o Ararã.
9	KPR21	FCZ	8:30	FAR	0:00	15:30	A	1	FBB 1 12:30 14:30; FBP 2,4 16:15 16:45; HRS 1 21:40 22:40	Antigo KPR01.
10	KPS01	FCZ	5:00	FBA	19:30	14:30	A	2	FBB 1 09:00 11:00; FPU 1 12:30 15:00; FBP 2,4 15:15 15:45	Na ausência de carga em FCZ, não será formado. CSN + GERDAU + ACESITA + Retorno de Enxofre de FBB p/ FBA.
11	KRC01	FAR	13:30	FDM	12:00	22:30	A	2	HRS 1 14:50 15:50; FBP 2,3 19:30 21:30; FBF 2 03:30 03:45; FDT 1 04:00 04:30; FBC 1 07:00 07:30; FPE 1 09:00 09:30	Retorno (Belgo; HOLCIM; SOEICOM; Gusa Exportação); recebe TUPI carregado em FPE p/ o trem KCR em FDM + USIMINAS + HOLCIM; SOEICOM; Gusa(FDM) ///
12	KRE01	FAR	3:00	FBO	14:30	35:30	A	2+1(*)	HRS 1 04:20 06:05; FBP 3,7 9:05 10:05; FPU 1,2,3 10:25 12:40; FBF 2 19:40 19:55; FDT 1 20:10 21:25; FBC 1 00:00 01:00; FPE 1 02:30 03:15; FPK 1,2,5 04:15 05:30; FDM 1 06:30 08:30	Retorno Belgo; USIMINAS + TUPI; HOLCIM; SOEICOM; Gusa(FDM). (*) - 1 locomotiva de retorno do KPR21 (Rebocar para FPU)
13	KSE01	FBA	16:00	FBO	22:00	30:00	A	2	FOS 3 16:20 16:50; FGD 4 17:40 18:10; FBP 2,7 20:40 21:40; FBF 2 04:10 04:25; FPK 1,2,5 10:30 13:00; FDM 1 14:10 16:10	Retorno plataforma para USIMINAS + Sucata GERDAU para FBO
14	KSP11	FBA	6:00	IEF	14:30	32:30	A	1	FOS 3 06:20 07:20; FGD 4 08:05 08:45; FBP 7 11:15 12:30; FPU 1,5 12:45 14:45; FVR 1 16:15 17:45; FBB 1,2 18:15 20:15; FRA 2 02:15 02:30; FCA 1 04:30 05:30; FST 1 09:30 11:30	PRODUTO SIDERÚRGICO + Retorno SUCATA + VOLKS + Retorno CSN; recebe vagões do KOR em FPU; Recebe vagões do KCR em FBB
15	KSP21	FBA	22:00	IEF	6:30	32:30	A	1	FOS 3 22:20 23:20; FGD 4 00:00 00:40; FBP 7 03:00 03:45; FPU 1,5 04:00 07:00; FBB 1,2 10:00 12:00; FCZ 1 16:00 17:00; FRA 2 18:50 19:05; FCA 1 21:20 22:50; FST 1 03:10 05:00	Retorno Sucata SP. + Recebe vgs. KOR p/ SP + GM em FPU + Recebe vgs. KCR p/ SP em FBB, deixa MONSANTO em FCA.
16	KVR01	FBB	14:30	FAR	0:00	9:30	A	1	FBP 2,4 16:15 16:45; HRS 1 21:40 22:40	Somente na supressão do Trem KPR21.
17	KVS11	FBB	11:00	FBA	19:30	8:30	A	2	FPU 1 12:30 15:00; FBP 2,4 15:15 15:45	Formar APENAS na supressão do KPS01. CSN + GERDAU + ACESITA + Retorno de Enxofre de FBB p/ FBA.
18	KVS21	FBB	19:00	FBA	3:30	8:30	A	2	FPU 1 20:30 23:00; FBP 4 23:15 23:45	CSN + PRODUTO SIDERÚRGICO e SUCATA GERDAU + ACESITA + Retorno de Enxofre de FBB p/ FBA.
19	RER01	FBO	2:00	FAR	8:00	30:00	A	2	FJC 2,3 08:00 09:20; FOJ 2 15:30 16:00; FBB 1 20:30 22:00; FBP 2,4 23:40 23:55; HRS 1 04:30 06:40	Trem Expresso, levará também vagões de Carga Geral.
20	RRE01	FAR	22:00	FBO	1:30	27:30	A	2+2(*)	HRS 1 23:20 00:05; FBP 2,3 03:15 04:45; FBF 2 10:25 10:40; FDT 1 10:55 12:25; FDM 1,2 18:30 19:30	Trem Expresso, levará também vagões de Carga Geral. (*) - 2 locomotivas de retorno do KOR11. (Rebocar para FBC)

Atualizado em 01/06/06 Formatos (A3 - 6 cópias A4- 10 cópias)

Legenda: 1- Anexar/Desanexar vagões 2- Trocar Equipagem 3- Abastecer 4- Anexar Auxílio 5- Inspecionar Composição 6- Reversão de Locomotiva 7- Anexar/Desanexar Locos