

# **MODELO DE CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE TRENS CARGUEIROS EM REDES FERROVIÁRIAS DE LINHA SINGELA**

**Cassiano Augusto Isler**  
**João Alexandre Widmer**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma ferramenta de planejamento estratégico para cálculo da capacidade de uma rede ferroviária de linha singela ramificada em forma de espinha de peixe, com estações que permitem o cruzamento de trens que circulam em sentidos opostos, terminais de geração e recebimento de cargas e um pólo de concentração para onde convergem e de onde emanam todas as composições ferroviárias da rede. O modelo tem como principal dado de entrada os comprimentos dos arcos e os tempos de viagem entre estações, tempos estes obtidos através de um simulador que considera as características geométricas e de conservação da superestrutura ferroviária e a configuração dos trens utilizados na operação do sistema (potência das locomotivas, comprimento e carga por eixo dos vagões etc.).

## **ABSTRACT**

This paper provides a strategic planning tool to calculate the capacity of a fish spine branched single line railroad network composed of stations, which allow crossing between trains that run in opposite directions, terminals that generate and receive cargo and a concentration pole which receives and redistributes the trains to the network.. The main inputs of the model are the length of the arcs and the travel times between stations, times that are obtained from a simulator which considers the geometric and the conservation characteristics of the railway infrastructure and the configuration of the trains used in the system operation (locomotive tractive effort, wagons length and axles loads etc.).

## **1. INTRODUÇÃO**

A melhoria no nível de oferta dos serviços de transporte ferroviário decorrente da concessão da operação do sistema à iniciativa privada resultou no surgimento de diversos problemas operacionais e de infra-estrutura da via permanente que afetam a sua produtividade como, por exemplo, as baixas velocidades médias dos trens apresentadas nos relatórios anuais da Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT).

A definição do tipo de rede em forma de espinha-de-peixe que é objeto de investigação neste trabalho deve-se ao fato de que essa configuração é recorrente nos vários corredores ferroviários de exportação/importação de cargas no Brasil, como apresentado pela Pesquisa Ferroviária CNT 2006 (Confederação Nacional do Transporte, 2007) tais como: Brasília / Anápolis – Santos, Alto Araguaia – Santos, Carajás / Estreito – São Luís, Brasília/Anápolis – Vitória etc.

Este artigo apresenta uma heurística para análise de capacidade de uma rede ferroviária em forma de espinha-de-peixe com um único pólo de concentração de tráfego com objetivo de planejamento ferroviário estratégico, considerando os fatores que condicionam a mecânica de locomoção de veículos ferroviários e as características geométricas da via permanente.

No item subsequente a esta introdução é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os horizontes de planejamento das decisões administrativas no âmbito das ferrovias, as abordagens utilizadas nos modelos de sistemas ferroviários e referências a modelos de capacidade ferroviária existentes. A seguir são apresentadas as premissas do modelo proposto, os procedimentos para determinação da capacidade da rede e o trecho que restringe o aumento do número de trens diários no sistema e, em seguida, as considerações sobre a sua aplicação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas decisões administrativas com horizonte de planejamento estratégico estão inseridos os projetos de infra-estrutura com prazos longos (anos) de maturação e obras de melhoria como, por exemplo, construção de novas vias, duplicação das existentes, implantação de novos pátios e desativação de linhas. As decisões táticas buscam, por sua vez, responder questões de médio prazo (trimestral ou mensal) tais como rotas, comprimento e formação dos trens, políticas de classificação nos pátios etc. Por outro lado, as decisões operacionais atuam sobre os horários de chegadas e partidas dos trens e a distribuição de locomotivas com base nos comboios formados etc. (Assad, 1980)

Diversos estudos sobre sistemas ferroviários foram realizados nesses três níveis de planejamento como pode ser observado em Crainic *et al.* (1990), Homer *et al.* (1999), Leal *et al.* (2004), entre outros. Os modelos propostos podem ser classificados em analíticos, de simulação e otimização, os quais muitas vezes se interpoem na abordagem de um problema específico.

Os modelos analíticos utilizam expressões algébricas para resolver, por exemplo, questões sobre a mecânica de locomoção das composições ferroviárias e a circulação de trens de diferentes tipos, com prioridades distintas, em função de suas características operacionais e da configuração da via ferroviária (Petersen e Taylor, 1982). Por outro lado, os modelos de simulação permitem a análise de problemas com um número maior de variáveis e permitem representar de maneira mais realista as condições de movimentação dos trens na via. (Assad, 1980)

Os modelos de otimização têm, segundo Petersen e Taylor (1982), o objetivo de investigar os problemas no ambiente ferroviário com vistas a melhorar alguma medida de desempenho, como aumentar a capacidade de processamento, minimizar o atraso total etc., cujo conceito é amplamente utilizado em modelos associados à definição dos horários dos trens (modelos de *scheduling*).

Segundo Assad (1980), os modelos de capacidade permitem analisar o movimento dos trens na linha, identificar os trechos que restringem o aumento do número de composições ferroviárias que circulam no sistema e avaliar os atrasos decorrentes do cruzamento entre trens com velocidades distintas que circulam em sentidos opostos.

Abril *et al.* (2008) apresentam uma revisão sobre os modelos de capacidade existentes e que consideram diferentes aspectos e variáveis envolvidas nos problemas de circulação de trens em sistemas ferroviários. Krueger *et al.* (2000) e Middelkoop e Bouwman (2001), por exemplo, estudaram a problemática da alocação de trens com o emprego de modelos de simulação, porém com a penalidade de apresentarem-se pouco flexíveis e de aplicação a ferrovias específicas.

Caprara *et al.* (2002) e Burdett e Kozan (2006) elaboraram modelos de otimização e ferramentas para determinação do número de trens que circulam em sistemas ferroviários. Entretanto é possível constatar, através dos modelos apresentados por Barber *et al.* (2007), que as equações e métodos de resolução dos problemas são bastante complexos e, em geral,

demandam excessivo tempo de processamento computacional para obtenção de uma solução satisfatória.

### 3. MÉTODO PROPOSTO

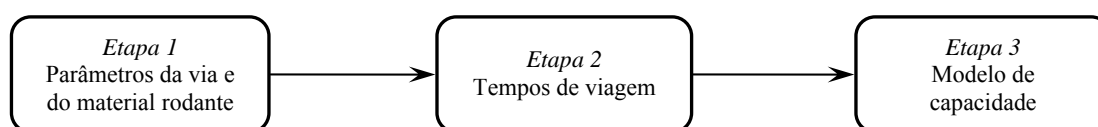
O movimento de trens é possível devido à existência de uma infra-estrutura compatível com o material rodante que circula sobre ela. A construção de um modelo exige a caracterização dos elementos que fazem parte desses componentes ferroviários, tal que representem simplificada e as condições de circulação dos trens.

Em relação à via permanente, a rede ferroviária considerada no modelo apresentado neste trabalho é do tipo ramificada com um pólo de concentração de cargas. Os arcos, ligados entre si através das estações – ou nós – destinadas ao cruzamento de trens em sentidos opostos, são trechos em linha singela que formam um ramal ferroviário. Ramais ferroviários estão conectados por terminais, os quais têm, por hipótese, capacidade ilimitada de geração, recebimento e processamento de trens.

Quanto à operação do sistema, trens podem trafegar na rede em dois sentidos distintos, designados por Exportação, quando direcionados ao pólo de concentração de cargas, e Importação, quando em sentido contrário. As composições no mesmo sentido são espaçadas temporalmente por um intervalo constante denominado *headway*, determinado pelo tempo de percurso nos arcos, que é função da velocidade média nesses trechos.

O material rodante é composto por um trem-tipo padrão, utilizado em toda a operação do sistema, cuja força motriz, carga total transportada e comprimento total não são alterados nos percursos entre terminais.

Para obtenção da capacidade de processamento de trens nos ramais da rede ferroviária, foram definidos três procedimentos distintos, relacionadas entre si pelo fluxograma da Figura 1.



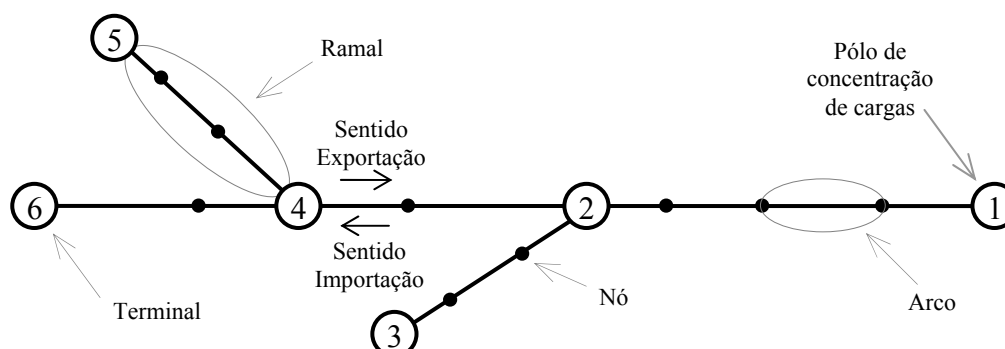
**Figura 1:** Fluxograma das etapas para obtenção da capacidade da rede ferroviária.

#### 3.1. Etapa 1 – Parâmetros da via e do material rodante

A primeira etapa consiste na definição da rede ferroviária e obtenção de dados relativos à via – geometria e características do material rodante – e definição das condições de movimentação dos trens, como limites de velocidades, localização de pátios de cruzamento e terminais etc. O procedimento de caracterização da rede é definido pela atribuição de índices aos terminais na forma de um número natural diferente de zero, com a condição de que um mesmo índice não seja utilizado para identificar mais de um terminal.

Para tanto, são identificados os ramais por onde circulam os trens nos dois sentidos (Exportação e Importação), os nós em que os trens em sentidos contrários se cruzam e, por fim, os terminais da rede. A seguir, é atribuído o índice “1” ao terminal que representa o pólo de concentração de cargas e os demais terminais são identificados em ordem crescente de números inteiros a partir desse valor, de modo que o terminal de entrada dos trens em um ramal no sentido Exportação seja identificado com um índice maior que o de saída.

A Figura 2 ilustra o tipo de rede ferroviária abordada neste trabalho, com a identificação dos terminais e indicação dos elementos descritos anteriormente.



**Figura 2:** Exemplo do tipo de rede ferroviária abordada, com a identificação dos seus terminais e definição dos elementos que a constitui.

Apesar de ser possível aos trens movimentarem-se entre quaisquer dois pontos de uma rede ferroviária, o modelo proposto não admite transporte de carga entre terminais internos da rede. Para incorporar este conceito ao modelo, foi criado o termo “Rota de Circulação”, que corresponde à trajetória que os trens descrevem ao partir de um terminal – no sentido Exportação – até atingir o pólo de concentração de cargas. Para cada terminal da rede são identificados os locais subsequentes com essa mesma característica, por onde os trens passam até atingirem o pólo de concentração de cargas quando estes circulam no sentido Exportação.

Foi inserida no modelo uma variável denominada “Coeficiente de Proporcionalidade” que corresponde à proporção de trens que partem de cada um dos terminais em relação ao número total de composições que chegam ao pólo de concentração de cargas no sentido Exportação, e que podem variar no intervalo de 0% e 100%. Por ser um valor atribuído a todos os terminais entre si, a soma dos Coeficientes de Proporcionalidade deve resultar em 100%, que corresponde a toda a carga transportada no sistema em cada um dos sentidos de circulação.

A Tabela 1 apresenta a configuração das Rotas de Circulação da rede apresentada na Figura 2 e uma combinação viável dos Coeficientes de Proporcionalidade para esses percursos.

**Tabela 1:** Rotas de Circulação e Coeficientes de Proporcionalidade atribuídos aos terminais.

| Coeficiente de<br>Proporcionalidade | Terminal de<br>origem | Terminais subseqüentes<br>(sentido Exportação) |   |   |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|---|
| 20 %                                | <b>2</b>              | 1  |   |   |
| 25 %                                | <b>3</b>              | 2  | 1 |   |
| 10 %                                | <b>4</b>              | 2  | 1 |   |
| 15 %                                | <b>5</b>              | 4  | 2 | 1 |
| 30 %                                | <b>6</b>              | 4  | 2 | 1 |

### 3.2. *Etapas 2 – Tempos de viagem*

Os tempos de viagem dos trens nos arcos são obtidos através de um simulador de desempenho de trens desenvolvido pela *Association of American Railroad (AAR)*, denominado *Train Energy Model (TEM)* versão 2.5. (Drish, 1992). Os resultados das simulações são fornecidos

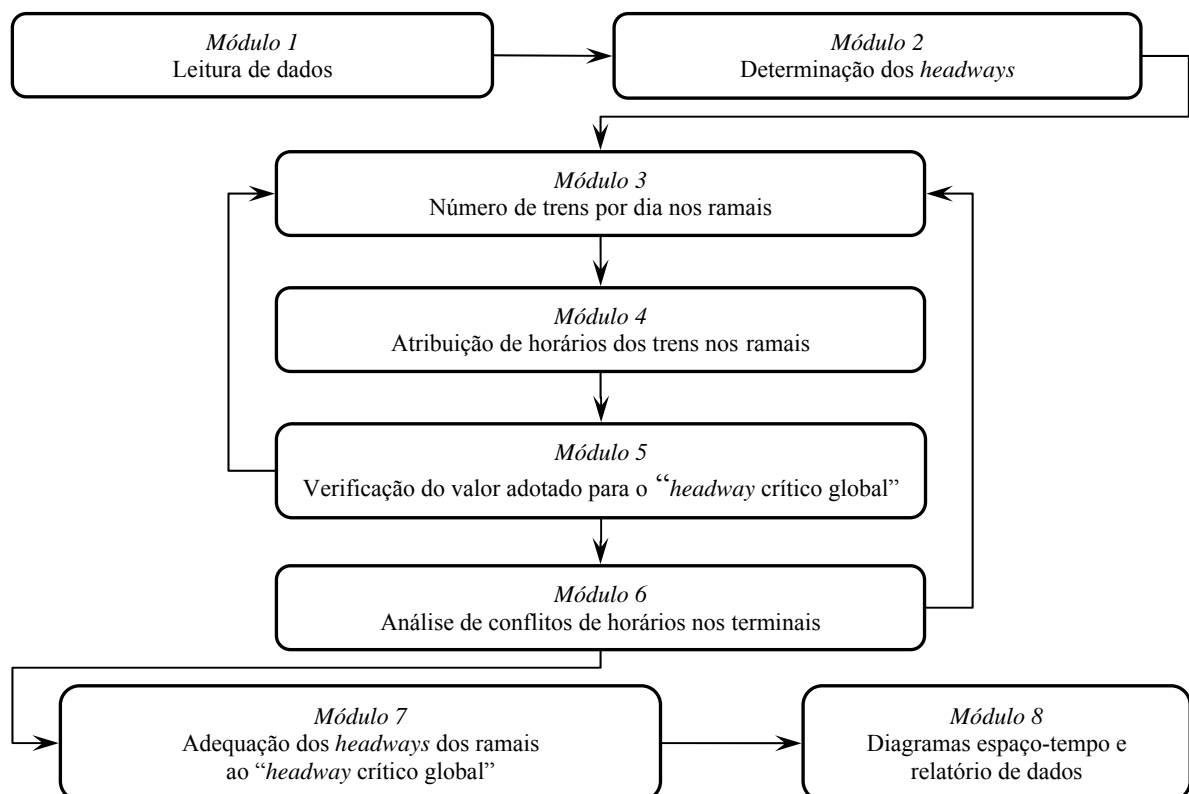
em arquivos em formato de texto que contém dados sobre o tempo de percurso, em intervalos de 30 segundos, a distância percorrida acumulada e a velocidade instantânea nesses pontos.

### 3.3. Etapa 3 – Modelo de capacidade

Esta etapa corresponde à obtenção da capacidade de processamento de uma rede ferroviária em linha singela ramificada na forma de espinha de peixe. Para isso, são inseridos os dados de tempos de viagem e distância entre os nós em um modelo analítico que representa a movimentação dos trens nos ramais da rede através de diagramas espaço-tempo.

O modelo foi implementado no *Visual Basic for Applications* – versão orientada a objetos do *Basic* integrado ao *software Microsoft Office Excel* (Jelen e Syrstad, 2004) – por permitir a caracterização adequada da rede ferroviária, a inserção dos procedimentos executados no modelo e apresentar adequadamente os diagramas espaço-tempo e o relatório de dados sobre a capacidade de processamento de trens no sistema. A linguagem orientada a objetos possui variáveis organizadas como uma coleção de entidades discretas e distintas cujos atributos lhes são conferidos através de comandos denominados métodos (Rumbaugh *et al.*, 1994).

O fluxograma da Figura 3 apresenta os módulos que compõem o algoritmo do modelo, cuja descrição é dada nos itens posteriores.



**Figura 3:** Fluxograma do algoritmo de obtenção da capacidade da rede.

#### 3.3.1. Módulo 1 – Leitura de dados

O primeiro passo que precede a execução da rotina computacional criada é relativo à caracterização da via, com a identificação dos terminais de geração e recebimento de trens, definição das Rotas de Circulação e atribuição dos Coeficientes de Proporcionalidade aos terminais. Além disso, é necessário estabelecer um parâmetro relativo ao tempo de espera

mínimo entre a chegada dos trens em um sentido no terminal de um ramal e a saída de outro no sentido contrário, denominado “Tempo de espera mínimo nos terminais”, expresso em minutos.

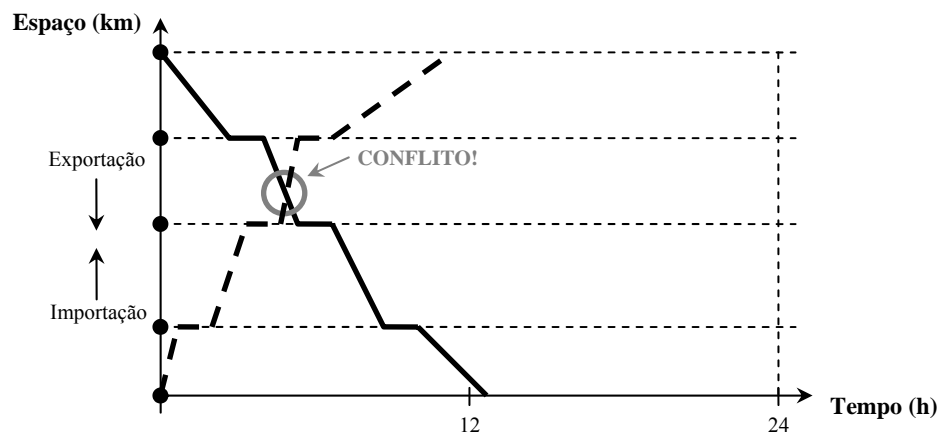
Uma vez caracterizada a malha ferroviária de modo compatível com a linguagem de programação empregada, os tempos de circulação dos trens nos arcos são obtidos através do simulador *Train Energy Model* versão 2.5.

O algoritmo é direcionado à leitura dos arquivos de simulação, com as devidas conversões de unidades, pois o *TEM* opera com sistema inglês de unidades, de modo que o espaço percorrido seja expresso em quilômetros e os tempos de percurso em horas, para representação satisfatória do movimento dos trens nos diagramas espaço-tempo.

### 3.3.2. Módulo 2 – Determinação dos *headways*

A seguir são apresentados os passos que o algoritmo executa para determinar os valores dos *headways* que permitem a inserção do maior número de trens em cada um dos ramais da rede.

*Passo 1:* Criação de um trem no sentido Exportação e outro no sentido Importação com horário de saída no instante zero (Figura 4);



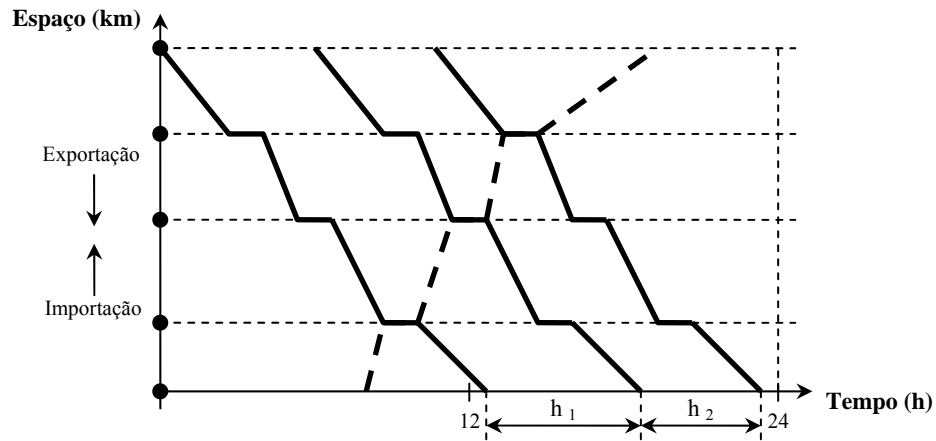
**Figura 4:** Diagrama espaço-tempo com os dados de saída do simulador.

*Passo 2:* Deslocamento do horário do trem no sentido Importação na entrada no ramal tal que ocorra sincronização do cruzamento no primeiro nó nesse sentido;

*Passo 3:* Criação de trens no sentido Exportação, em número igual ao de nós no ramal menos uma unidade, com *headways* ( $h_i$ ) que permitem a sincronização com o trem de sentido Importação em todos os nós do ramal. O procedimento é ilustrado na Figura 5, em que os trens inseridos partem do terminal no sentido Exportação com *headways* distintos ( $h_1$  e  $h_2$ );

*Passo 4:* Atribuição do maior  $h_i$  ao “*headway* crítico” do ramal ( $h_1$  no exemplo da Figura 5);

*Passo 5:* Definição do valor inicial de “*headway* crítico global” ( $h_{\text{crítico global}}$ ) – *headway* mínimo entre trens sucessivos atribuídos a todos os ramais da rede – igual ao “*headway* crítico” do ramal que contém o pólo de concentração de cargas da rede.



**Figura 5:** Sincronização entre trens que circulam em sentidos opostos.

### 3.3.3. Módulo 3 – Número de trens por dia nos ramais

A determinação do número de trens que circulam em cada ramal da rede é dada pelos procedimentos apresentados a seguir.

*Passo 1:* Determinação do número de trens no ramal que contém o pólo de concentração de cargas, dado pelo maior inteiro menor que o resultado do quociente entre o período de operação ferroviária (24 horas) e o “headway crítico global”, com os ajustes indicados na Equação 1;

$$N^{\circ} \text{ trens}_{\text{ramal com pólo de concentração de cargas}} = \left\lfloor \frac{24 \text{ horas}}{h_{\text{crítico global}}} \right\rfloor + \begin{cases} 1, & \text{se } \left( \frac{24 \text{ horas}}{h_{\text{crítico global}}} \right) \neq \text{Inteiro positivo} \\ 0, & \text{se } \left( \frac{24 \text{ horas}}{h_{\text{crítico global}}} \right) = \text{Inteiro positivo} \end{cases} \quad (1)$$

*Passo 2:* Determinação do número de trens que circulam nos demais ramais da rede segundo a Equação 2. Como o movimento dos trens ocorre nos dois sentidos, para cada composição ferroviária no sentido Exportação existe uma correspondente no sentido Importação.

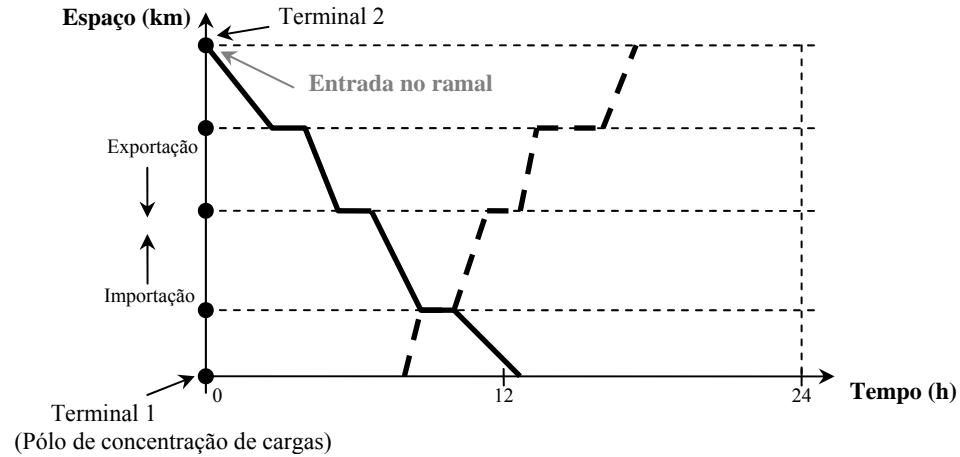
$$N^{\circ} \text{ trens}_{\text{ramal } i, i+1} = \left[ \begin{array}{c} \text{Coeficiente de} \\ \text{Proporcionalidade} \end{array} \right]_{\text{ter min al } i+1} \cdot N^{\circ} \text{ trens}_{\text{ramal com pólo de concentração de cargas}} \quad (2)$$

### 3.3.4. Módulo 4 – Atribuição de horários dos trens nos ramais

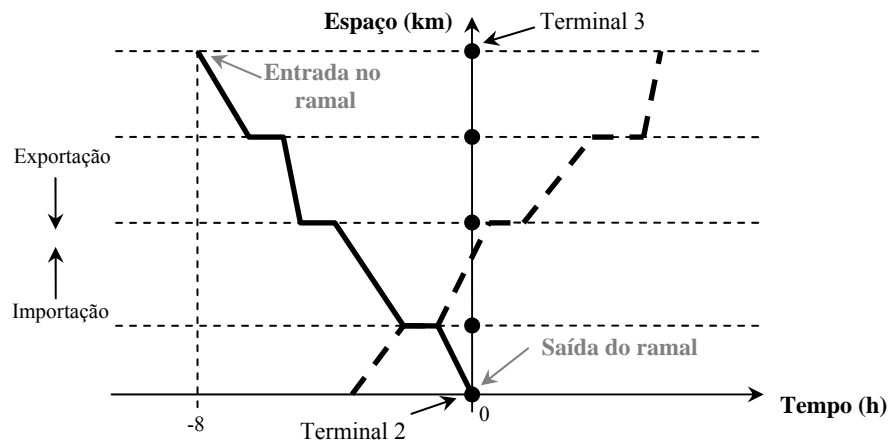
Uma vez determinado o número de trens por dia que circulam nos ramais da rede são definidos os horários de chegadas e saídas destes nos terminais segundo a sequência de passos apresentados a seguir.

*Passo 1:* Para todas as Rotas de Circulação é criada uma composição com horário de entrada no ramal que contém o pólo de concentração de cargas fixado à zero hora. Assumindo-se, inicialmente, que o tempo de permanência em todos os terminais de uma Rota é igual a zero, constrói-se o diagrama espaço-tempo para os ramais precedentes;

*Passo 2:* Para toda Rota de Circulação efetua-se a sincronização dos trens no sentido Importação, no primeiro nó desse sentido, com os de Exportação para cada um dos ramais da Rota. As Figuras 6 e 7 apresentam uma definição hipotética dos horários de um trem na Rota de Circulação “3-2-1” da rede definida na Figura 3;



**Figura 6:** Circulação do trem no ramal “2-1”.



**Figura 7:** Indicação da entrada e saída do trem no ramal “3-2”.

*Passo 3:* Ordena-se os terminais de origem das Rotas de Circulação que contém trens em ordem crescente;

*Passo 4:* O trem com origem no primeiro terminal dessa sequência tem prioridade de entrada no ramal que contém o pólo de concentração. Ao trem que se origina no segundo terminal da sequência de índices dos terminais atribui-se um horário de entrada nesse ramal somando-se o “headway crítico global” ao horário de entrada do trem precedente, e assim sucessivamente para o primeiro trem de cada Rota. Nesse primeiro passo do processo de alocação deslocam-se os horários nos ramais precedentes de cada Rota desse mesmo “headway crítico global”;

*Passo 5:* Repete-se o procedimento anterior até que todos os trens das Rotas de Circulação, calculados Módulo 3, tenham seus horários de circulação nos ramais definidos. Quando o número de trens por dia de uma Rota for atingido, o índice do terminal de origem que a define é excluído da sequência.



### 3.3.5. Módulo 5 – Verificação do valor adotado para o headway crítico global

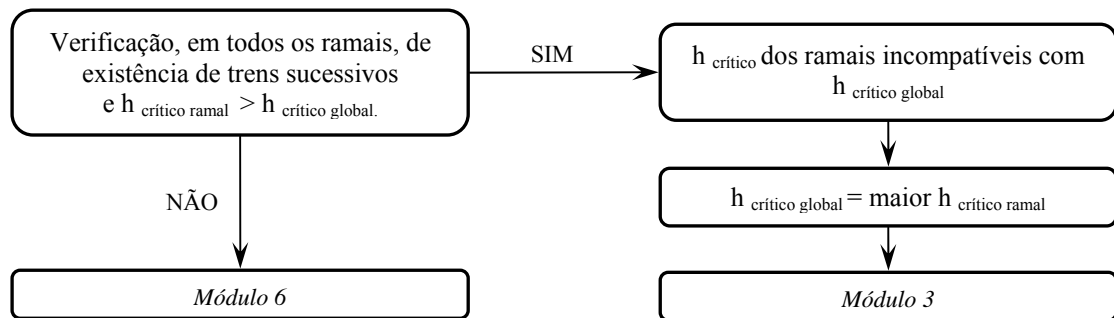
Nesse módulo verifica-se a compatibilidade da atribuição do tráfego de trens sucessivos gerados no *Módulo 4* nos ramais que precedem o ramal que contém o pólo de acordo com a sequência de procedimentos apresentada a seguir.

*Passo 1:* Verificação da passagem de cada par de trens sucessivos gerados no *Módulo 4* em um mesmo ramal;

*Passo 2:* Para aqueles pares que satisfazem a condição do *Passo 1* verifica-se a condição do “headway crítico” desse ramal ser maior que o “headway crítico global”;

*Passo 3:* Adoção de um novo “headway crítico global” definido como o maior entre os valores identificados no *Passo 2*, caso existam.

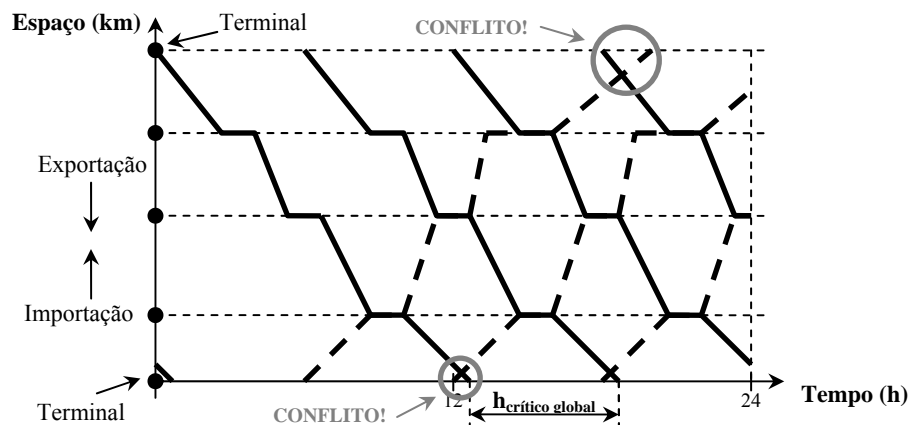
O fluxograma da Figura 8 sintetiza o procedimento.



**Figura 8:** Estrutura condicional que verifica a compatibilidade entre *headways* nos ramais.

### 3.3.6. Módulo 6 – Análise de conflitos de horários nos terminais

Solucionado o problema de compatibilidade dos *headways* no sistema, o algoritmo passa à solução do problema de cruzamento de composições em sentidos opostos nos arcos que contém um terminal (Figura 9), de acordo com as etapas a seguir:



**Figura 9:** Possíveis conflitos nos arcos que contém terminais em um ramal.

*Passo 1:* Para cada ramal, identificar os arcos que contém um terminal;

*Passo 2:* Verificar se o tempo de entrada trem  $k+1$  no sentido exportação no primeiro arco desse ramal, nesse sentido, é menor que o tempo de saída desse arco do trem 1 no sentido Importação, com  $k$  igual ao número de arcos do ramal em análise.

*Passo 3:* Verificar se o tempo de entrada do trem 2 no sentido Importação no primeiro arco desse ramal, nesse sentido, é menor que o tempo de saída desse arco do trem 1 no sentido Exportação.

*Passo 4:* Identificar o maior valor entre as diferenças calculadas no *Passo 2* e *Passo 3*, caso existam, e atribuí-lo a uma variável denominada  $\Delta_{\text{conflito ramal}}$ .

*Passo 5:* Para todos os ramais, identificar o maior valor de  $\Delta_{\text{conflito ramal}}$  e atribuí-lo a uma variável denominada  $\Delta_{\text{conflito global}}$ , a partir do qual é definido um novo valor de “headway crítico global” do sistema pela Equação 3.

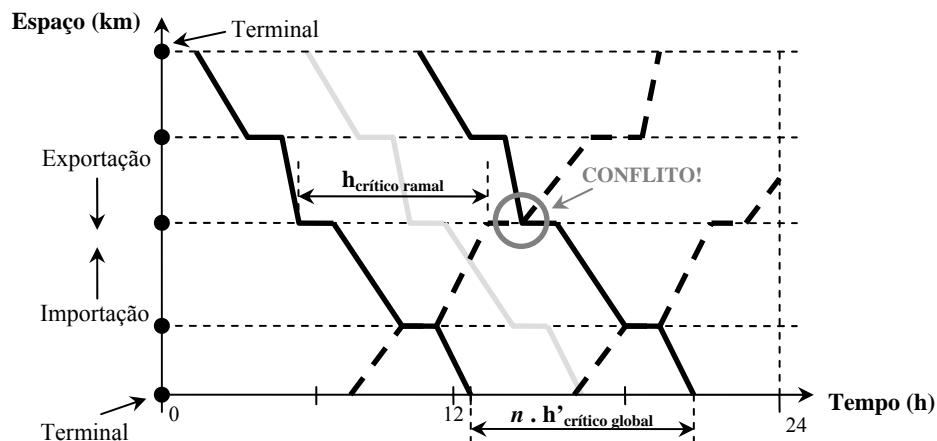
$$(h'')_{\text{crítico global}} = (h_{\text{crítico global}}) + \Delta_{\text{conflito global}} + \text{“Tempo de espera mínima nos terminais”} \quad (3)$$

*Passo 6:* Se o “headway crítico global” for alterado o algoritmo é redirecionado ao *Módulo 3*.

### 3.3.7. Módulo 7 – Adequação dos headways dos ramais ao “headway crítico global”

Para a adequada representação da circulação dos trens nos ramais através dos diagramas espaço-tempo é necessário resolver o conflito gerado nas situações em que o “headway crítico” de um ramal é menor que o “headway crítico global” ou em que o “headway crítico” de um ramal é maior que o “headway crítico global”, porém com separação temporal entre trens sucessivos no trecho menor que um múltiplo desse valor.

Este módulo do algoritmo é executado apenas para permitir a adequada representação da circulação dos trens no diagrama espaço-tempo, pois não há influência dos procedimentos sobre o “headway crítico global” do sistema e, conseqüentemente, sobre a capacidade de processamento de trens na malha.



**Figura 10:** Conflito em que  $h_{\text{crítico ramal}}$  é maior que  $h_{\text{crítico global}}$ , porém menor que  $2 \cdot h_{\text{crítico global}}$ .

*Passo 1:* Calcular o intervalo entre pares de trens sucessivos que circulam no ramal no sentido Exportação;

*Passo 2:* Para cada intervalo obtido no Passo 1, calcular o valor da variável  $n$  dada pelo resultado da divisão entre aquele valor e o “headway crítico global” (Equação 4);

$$n = \frac{\text{Intervalo entre trens sucessivos}}{h_{\text{crítico global}}} \quad (4)$$

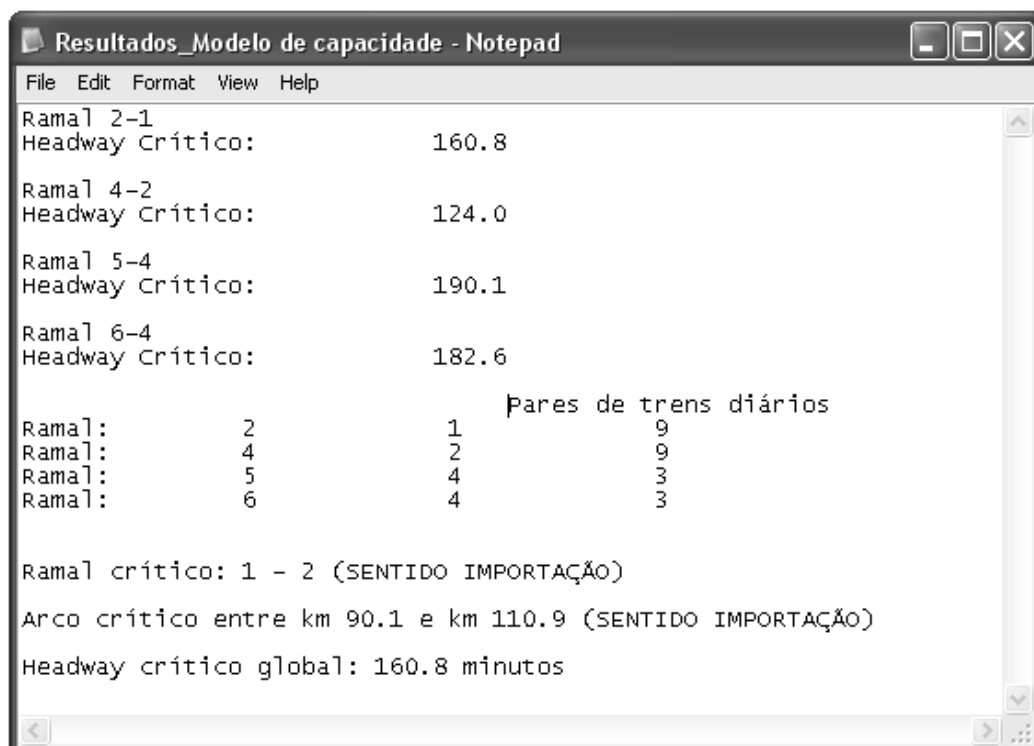
*Passo 3:* Calcular o valor do parâmetro  $\Delta_{\text{espera nós}}$  (Equação 5) que corresponde ao tempo de espera a ser adicionado ao trem no sentido Importação no nó em que ocorre o conflito.

$$\Delta_{\text{espera nós}} = (n \cdot h_{\text{crítico global}}) - h_{\text{crítico ramal}} \quad (5)$$

*Passo 4:* Adicionar o tempo de espera ( $\Delta_{\text{espera nós}}$ ) ao trem no sentido Importação que cruza com outro no sentido exportação no  $n$ -ésimo nó do ramal naquele sentido.

### 3.3.8. Módulo 8 – Diagramas espaço-tempo e relatório de dados

Esse módulo gera um diagrama espaço-tempo para cada ramal da rede para representar o movimento dos trens no período de 24 horas, em uma planilha do *software Microsoft Office Excel*. Além da exibição dos gráficos, o algoritmo cria um arquivo de texto (Figura 11) no qual são impressos o “headway crítico” e o número de trens de cada ramal, e o “headway crítico global” e o arco crítico da rede ferroviária.



**Figura 11:** Arquivo de resultados do modelo de capacidade.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo de capacidade proposto mostra que o “*headway* crítico” de um ramal é determinado pelas velocidades dos trens entre estações no trecho (tempos de viagem) e exerce influência sobre a capacidade de circulação de trens em toda a rede ferroviária considerada.

O método identifica o ramal e o arco que restringe o aumento do número de trens na malha e permite ao investidor analisar os efeitos da melhora das condições da superestrutura ferroviária no trecho crítico através da construção de cenários alternativos.

O modelo foi extensivamente testado para uma série de configurações, podendo ser aplicado à condição mais simples de um arco entre dois nós, um ramal contendo um elevado número de arcos ou redes tipo espinha de peixe com diversos ramais e um terminal de concentração de cargas, o que lhe dá flexibilidade para aplicação em análises de capacidade teórica de ferrovias existentes que necessitam de investimentos ou em trechos a serem construídos e que necessitam de uma análise preliminar da capacidade de processamento de uma determinada configuração alternativa.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pela bolsa de estudos concedida para o desenvolvimento da pesquisa proposta nesse artigo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em < [www.antt.gov.br](http://www.antt.gov.br) >. Acesso em: 14 mai. 2009.
- Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa Ferroviária CNT 2006. Brasília, DF, 2007.
- Drish, W. F. (1992) *AAR Report SD-39 Supplement – Train Energy Model version 2.0 user’s manual (version 2.5 supplement)*. AAR Research and Test Department – Technical Center, Chicago, Illinois.
- Abril, M.; F. Barber; L. Ingolotti; M. A. Salido; P. Tormos e A. Lova (2008) *An Assessment of Railway Capacity*. Transportation Research Part E, 44E, p. 774–806.
- Assad, A. A. (1980) *Models for Rail Transportation*. Transportation Research A, Vol. 14A, p. 205–220.
- Barber, F.; M. Abril; M. A. Salido; L. Ingolotti; P. Tormos e A. Lova (2007) *Survey of Automated Systems for Railway Management*. Technical Report DSIC-II/01/07, Department of Computer Systems and Computation, Technical University of Valencia.
- Burdett R. L. e E. Kozan (2006) *Techniques for Absolute Capacity Determination in Railways*. Transportation Research Part B, 40 B, p. 616–632.
- Caprara, A.; M. Fischetti e P. Toth (2002) *Modeling and Solving the Train Timetabling Problem*. Operations Research, Vol. 50, No. 5, September–October 2002, p. 851–861.
- Crainic, T. C.; M. Florian e J. E. Leal (1990) *A Model for the Strategic Planning of National Freight Transportation by Rail*. Transportation Science, Vol. 24, No. 1, February 1990, p. 1–24.
- Homer, J. B.; T. E. Keane e N. O. Lukiantseva (1999) *Evaluating Strategies to Improve Railroad Performance – A System Dynamics Approach*. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, p. 1186–1193.
- Jelen, B. e T. Syrstad (2004) *Macros e VBA para Microsoft Excel*. (1ª ed.). Campus, Rio de Janeiro.
- Krueger, H.; E. Vaillancourt; A. M. Drummie; S. J. Vucko e J. Bekavac (2000) *Simulation within the Railroad Environment*. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, p.1191–1200.
- Leal, J.E.; A. C. Soares e L. S. N. Nunes (2004). *Uma Abordagem Heurística para o Problema de programa de Trens em Linhas Singelas*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis, v.2, p.945–956.
- Lewellen, M. e K. Tumay (1998) *Network Simulation of a Major Railroad*. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1135–1138.
- Petersen, E. R. e A. J. Taylor (1982) *A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization*. Transportation Science, Vol. 16, No. 2, May 1982, p. 192–206.
- Rumbaugh, J. e M. Blaha (1994) *Modelagem e projetos baseados em objetos* (1ª ed.). Campus, Rio de Janeiro.