



A VALE

MINERAÇÃO

LOGÍSTICA

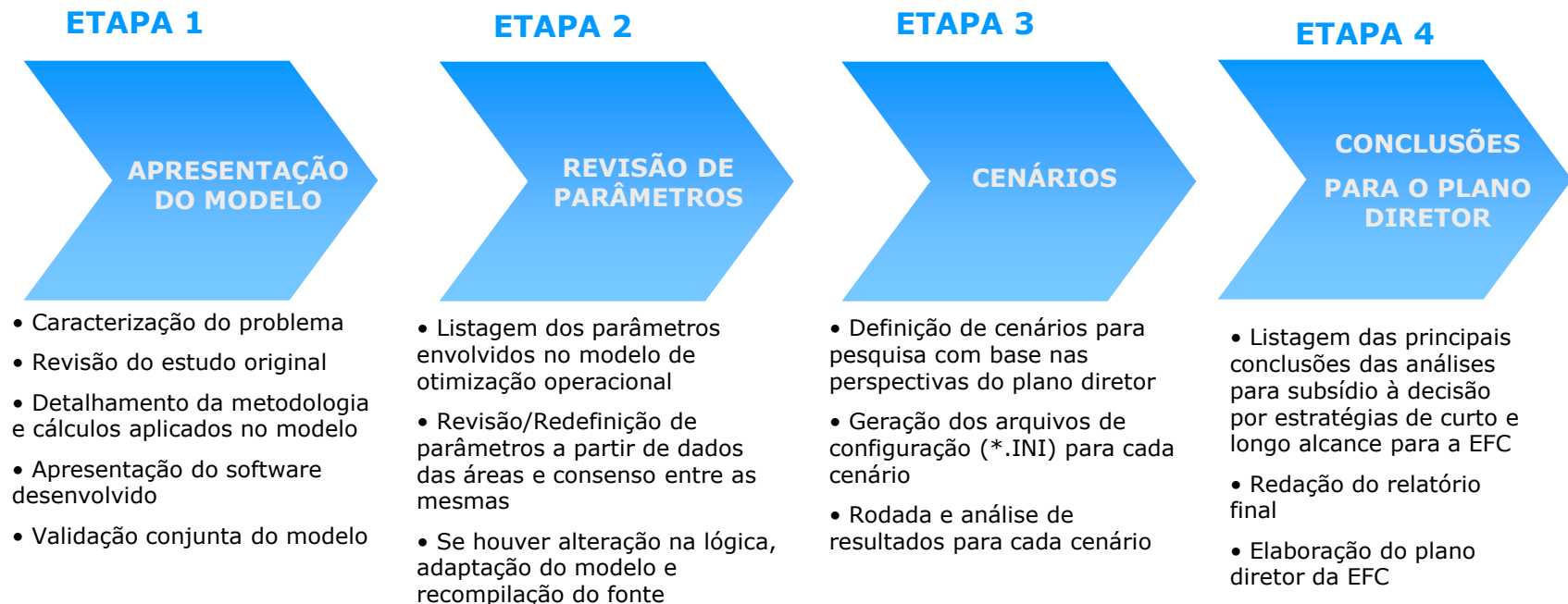
ENERGIA

# **Um modelo para a otimização do trem de minério da EFC**



**Companhia  
Vale do Rio Doce**

# Plano de trabalho



# Visão geral do projeto

Introdução

Revisão do estudo original

Modelo paramétrico do ciclo

Marcha

Quebra de trem

Avarias

Auxílios

Cruzamentos

Reformação Parauapebas

# Visão geral do projeto

Otimização e restrições

Rotina de cálculo

Função de mérito

Aplicativo desenvolvido e output

Conclusão e próximos passos

Carajás

Terminal Ponta da Madeira

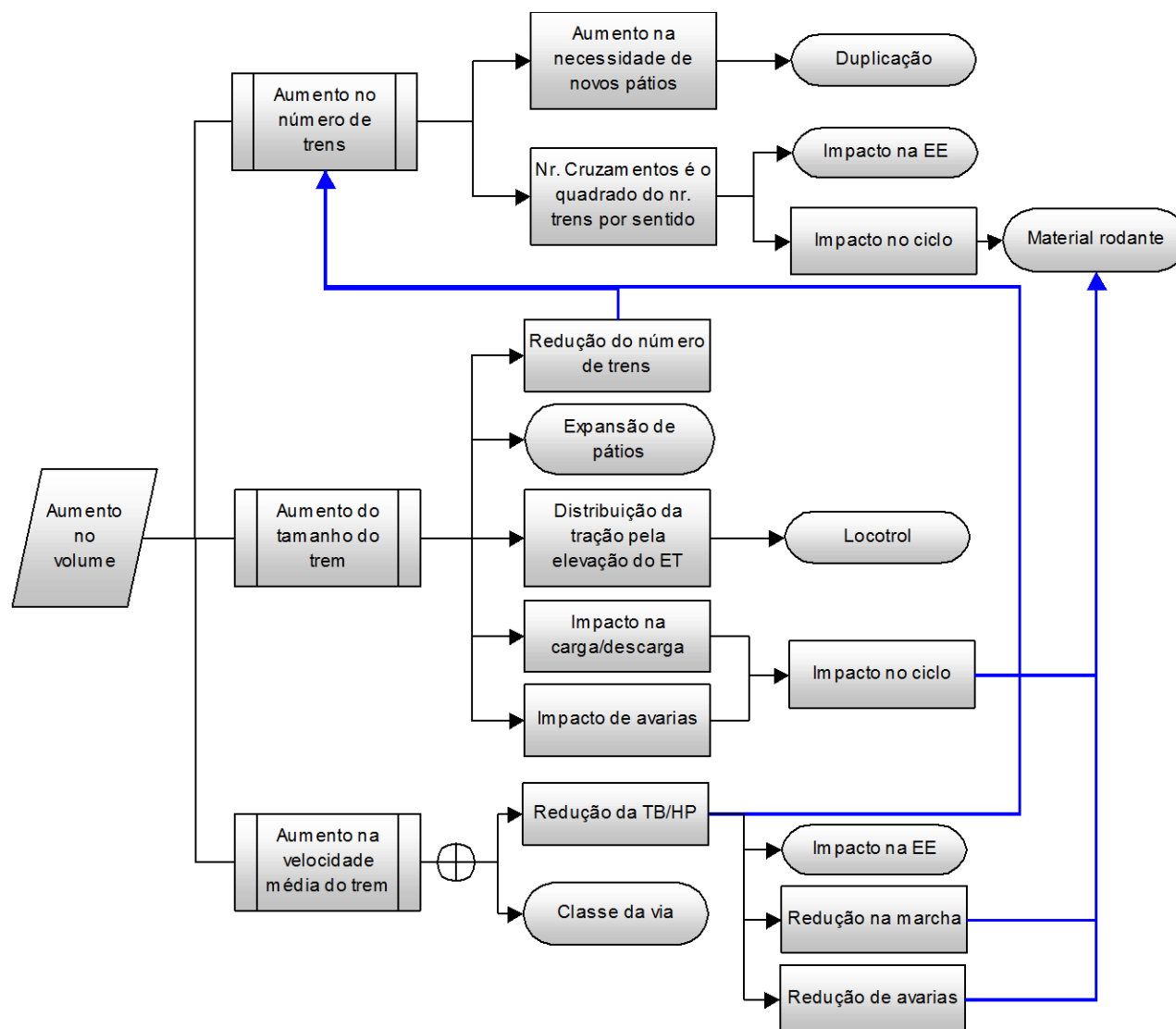
Trem e ciclo associado

Necessidade de pátios

# Objetivo

Estabelecer, com bases objetivas, um modelo matemático capaz de recomendar uma configuração otimizada de trem para o transporte de minério na EFC considerando o máximo possível das características operacionais do sistema norte e os efeitos da redefinição do trem sobre estas características em cada cenário.

O modelo deve ser implementado na forma de um aplicativo apto à pesquisa de cenários arbitrários e, portanto, aplicar-se de forma eficaz à definição do plano diretor da EFC.



# Tecnologia de tração distribuída

- > Aumento do trem sem impactos de quebra
- > Economia de combustível
  - Função "back"
  - Redução de esforços laterais
- > Maior segurança pela redução no tempo de recobrimento

## Revisão do estudo original GAVEN-002-2002

- Considerava aspectos de adequação da frota existente
- A minimização era baseada no cálculo do VPL diferencial com relação ao atual (206) o qual incluía locos, vagões, pátios, diesel e equipes
- As melhores soluções ficaram para o trem atual (2L+206) e o locotrol bi-bloco 3L+336, sendo este o selecionado por reduzir o tráfego na malha.

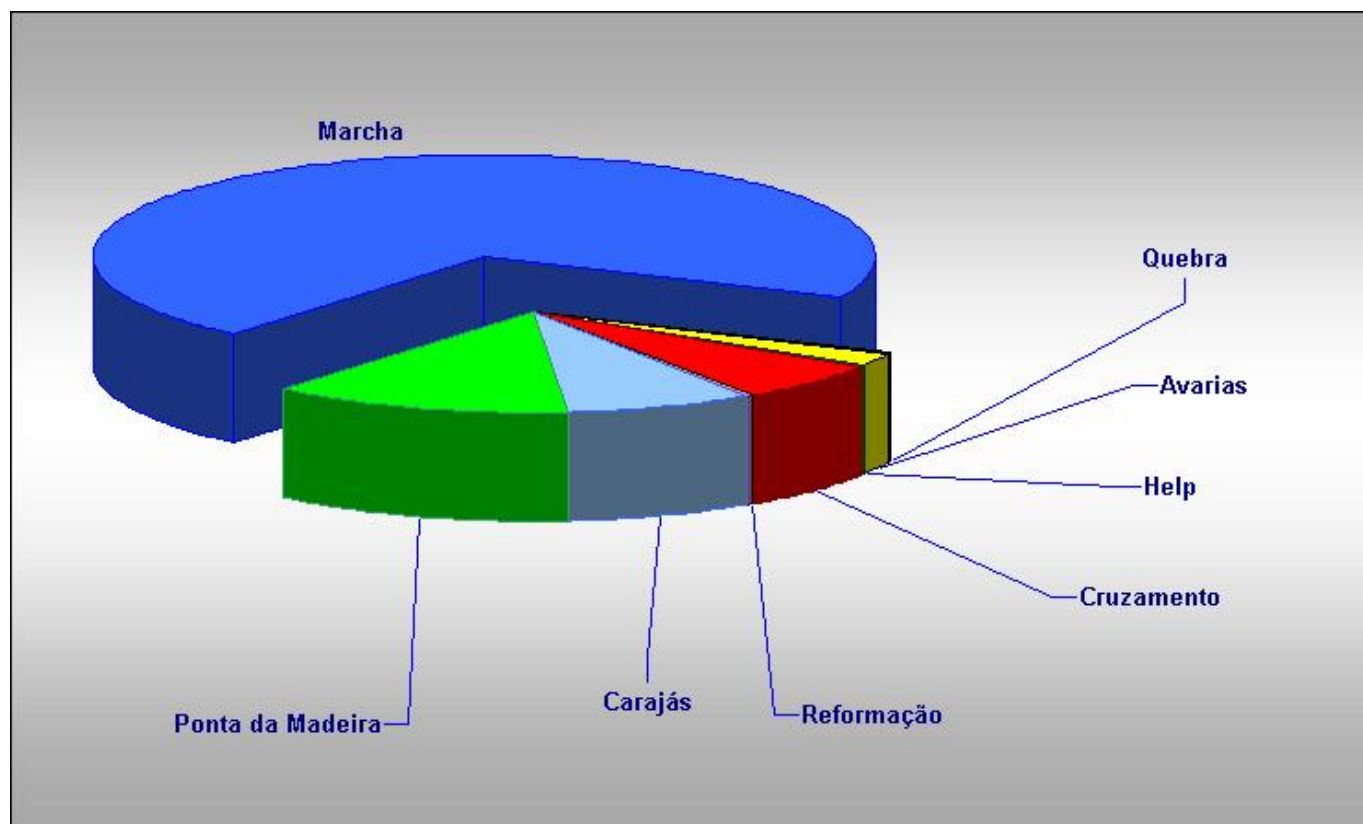
Entretanto, estes trens (atual e 336) foram melhores justamente porque não exigiam qualquer adequação na frota existente. Como conclusão decorrente, chegamos ao fato de que qualquer definição de trem que exige adequações na frota existente gera um investimento proibitivo, inviabilizando a opção.



- Tempo de permanência em CKS (4h) e em TPM (4,5h), invariante com respeito ao tamanho do trem
- Quantidade fixa, no horizonte de 10 anos, de 36 locos para outras atividades que não sejam trem-M
- Valor de 2,2 milhões US\$ para des/investimento de locos
- Ciclo total de minério variando linearmente com a relação HP/TB tal que qualquer aumento no tempo parado é alocado aos outros trens na malha.
- Considerava-se que as trações seriam padronizadas em todos os trens-M. Então se um trem era definido pela tração de 2 D9 e 1 C36, isto representava que 67% da frota com mais de 3,6 kHP deveria ser D9 e os 33% restantes C36, com os investimentos daí decorrentes.
- Todo trem com mais de 208 GDT seria locotrol, com o respectivo investimento e redução de custeio em diesel decorrentes
- Para todo locotrol, 3% de melhoria sobre a eficiência simulada foi aplicada
- A PV de minério considerada era a divulgada pela GEQAN no início de 2002. A PV de CG não foi considerada.
- A tração ideal do trem era definida como a mínima necessária para vencer o circuito CKS-TPM;
- O trem de retorno tem sempre a mesma configuração do trem carregado, daí se calculando a necessidade de novos pátios com base na formulação de Colson e expansão de pátios existentes com base no novo tamanho dos trens.

# Modelo paramétrico do ciclo

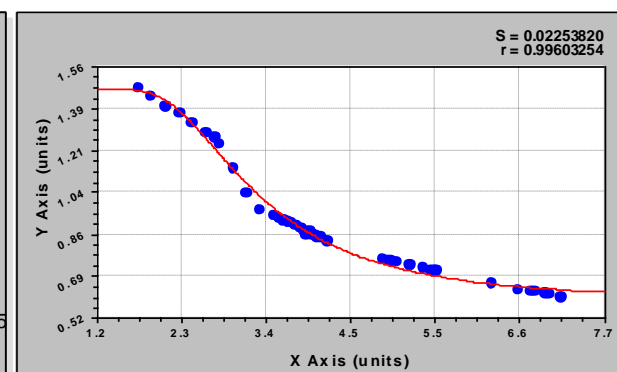
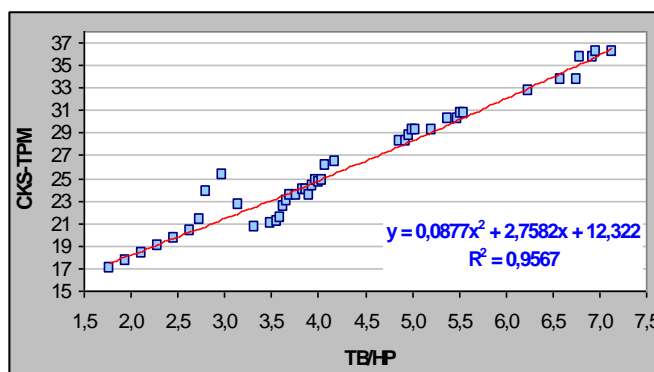
## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Tempo de marcha

68  
simulações



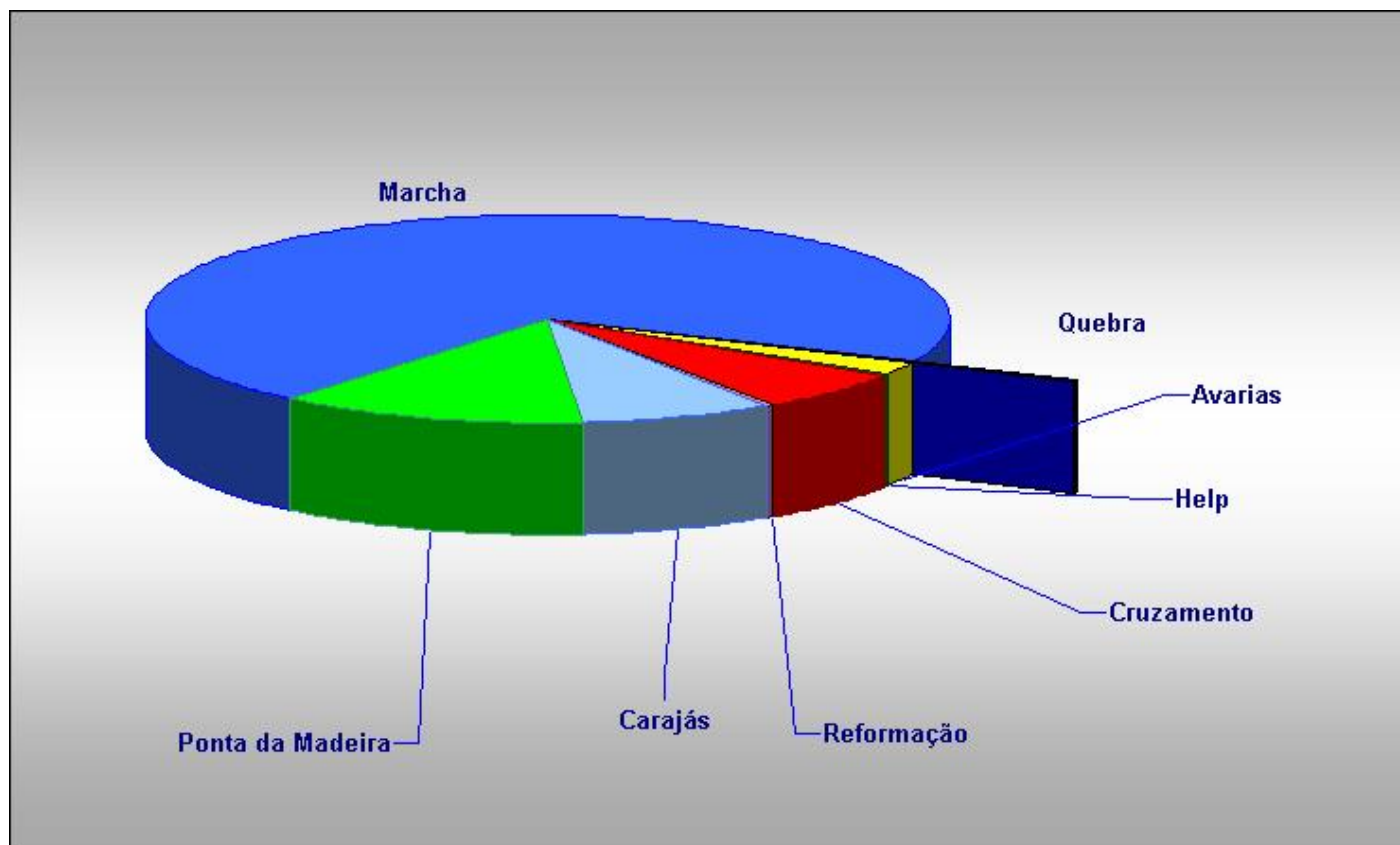
206 GDT:  
Export.(31 t/e): 23 h  
Retorno(vazio): 16 h

$$[Marcha + equip. + help]_{CKS-TPM} = A_1 + A_2(TB / HP) + A_3(TB / HP)^2$$

$$L / kTKB_{CKS-TPM(sem\ help)} = B_1 - B_2 \cdot EXP(-B_3 \cdot (TB / HP)^{B_4})$$

# Modelo paramétrico do ciclo

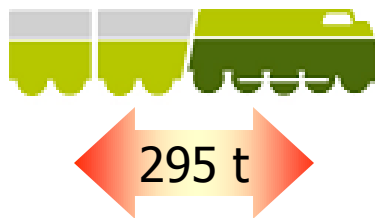
## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Impacto de quebra de trens

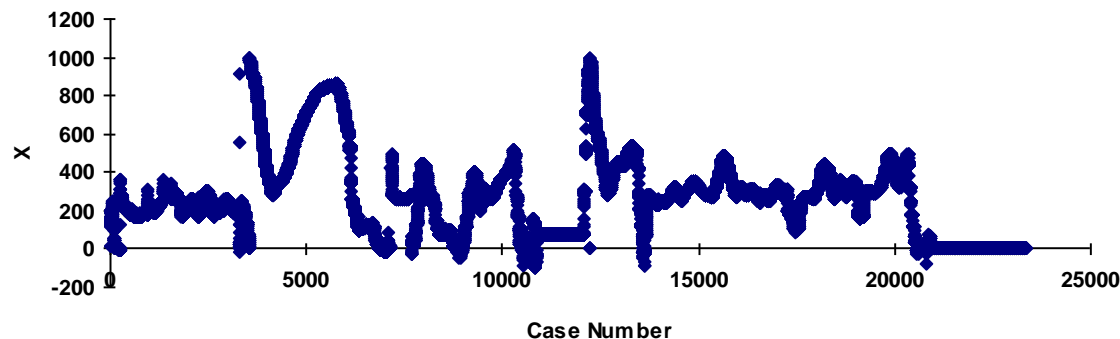
Engate E



[ 1,4 a 1,75 ]

210 t

170 t

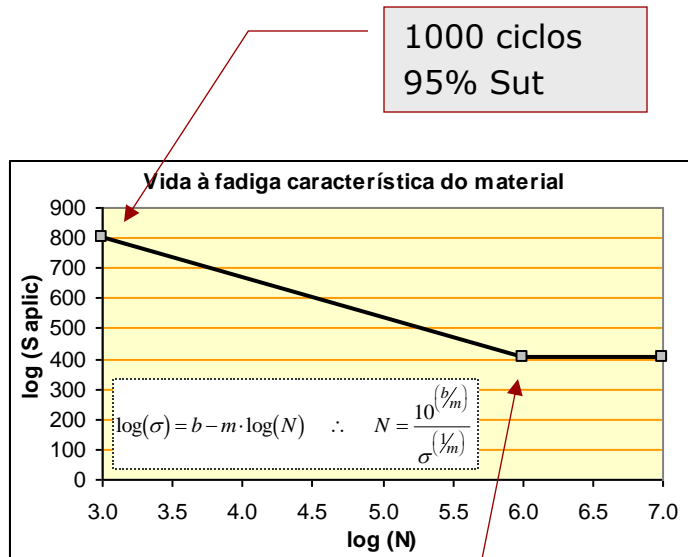


Evolução temporal (s) vs. Esforços dinâmicos (kN) entre CKS e o km617.

**Máx: 102 t no km  
833+780**

# Modelo paramétrico do ciclo

## Impacto de quebra de trens



$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{\sigma_0^{(1/m)}}{\sigma_1^{(1/m)}} = \frac{ET_0^{(1/m)}}{ET_1^{(1/m)}}$$

$$Quebra\_trem = Impacto_{ASIS} \cdot \left( \frac{ET_{CENARIO}}{ET_{ASIS}} \right)^{(1/m)}$$

AAR M-201 ⇒ Aço grau "E", Sut = 840 Mpa

$m = 0,093$

$(1/m) = 10,762$

Sob condições de vida finita, aumento de 2% na solicitação  
Aumento de 24% no impacto sobre o ciclo por quebra de engates

Ex: 206 para 220 GDT ⇒ 9,4 para 19,5 min

# Modelo paramétrico do ciclo

## Impacto de quebra de trens

$$ET = nr\_locos \cdot \left( \alpha \cdot W_{LOCOS} + Res_{LOCOS} \right) + nr\_vg \cdot \left( \alpha \cdot W_{VAGAO} + Res_{VAGAO} \right)$$

$$ET = \alpha \cdot TB_{TREM} + \left( nr\_locos \times Res_{LOCOS} + nr\_vg \times Res_{VAGAO} \right)$$

Se  $nr\_vg \gg nr\_locos$ ,  $vel \rightarrow 0$  e  $W_{VAGAO} \cong W_{LOCOS}$ , então  $Res_{LOCOS} \cong Res_{VAGAO}$ , e:

$$ET \cong \alpha \cdot TB_{TREM} + (nr\_vg + nr\_locos) \times Res_{VAGAO}$$

$$ET \cong \left( \frac{1}{nr\_blo\_cos} \right) \cdot \left[ \alpha \cdot TB_{TREM} + (nr\_vg + nr\_locos) \times Res_{VAGAO} \right]$$

$$ET \cong \left( \frac{HP_{MAIOR\ BLOCO}}{HP_{TOTAL\ TREM}} \right) \cdot \left[ \alpha \cdot TB_{TREM} + (nr\_vg + nr\_locos) \times Res_{VAGAO} \right]$$

**90 kgf/vg**

AAR, 20  
kmh, 31 t/e

Ex: Para trem 2C36+206 na região do help ( $\alpha=0,37\%$ )

$Res_{LOCOS} = 246$  kgf

$Res_{COMANDADA} = 240$  kgf

$Res_{VAGAO} = 90$  kgf

Na cabeça:

ET=52,0 t, por locos e vagões

ET=51,7 t, pelo total veículos

Na cauda: ET = -63 t

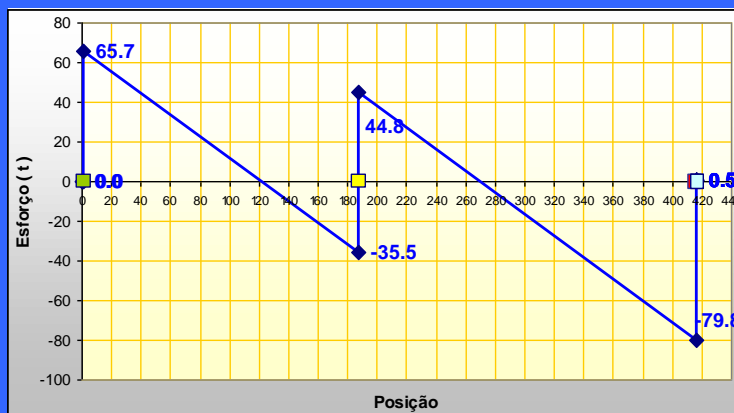
Ex: Para L53 ( $\alpha=0,27\%$ ), trem 206 sem help:

ET = 88 t, quase-estático

ET = 100 t, dinâmico a 20 kmh  
rodas de 36"

# Modelo paramétrico do ciclo

## Impacto de quebra de trens



$$ET = [2,59 + 3600,209 \cdot \alpha] \left( \frac{TB}{HP} \right)$$

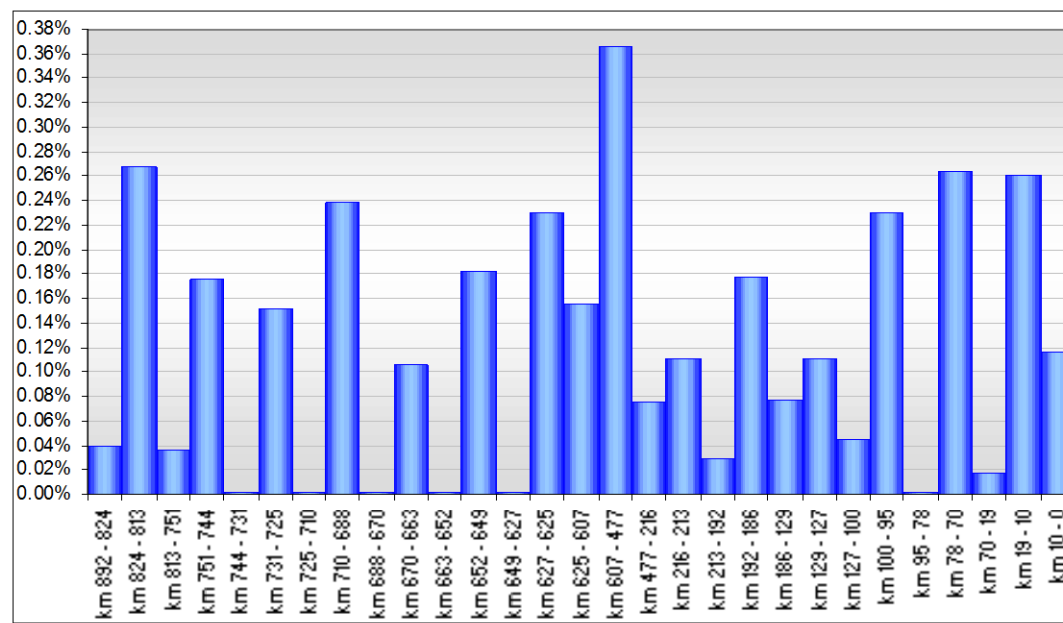
$$ET = nr\_lo\cos \times \left( \frac{HP_{MAIORBLOCO}}{HP_{TOTALTREM}} \right) \times [2,59 + 3600,209 \cdot \alpha] \left( \frac{TB}{HP} \right)$$



# Modelo paramétrico do ciclo

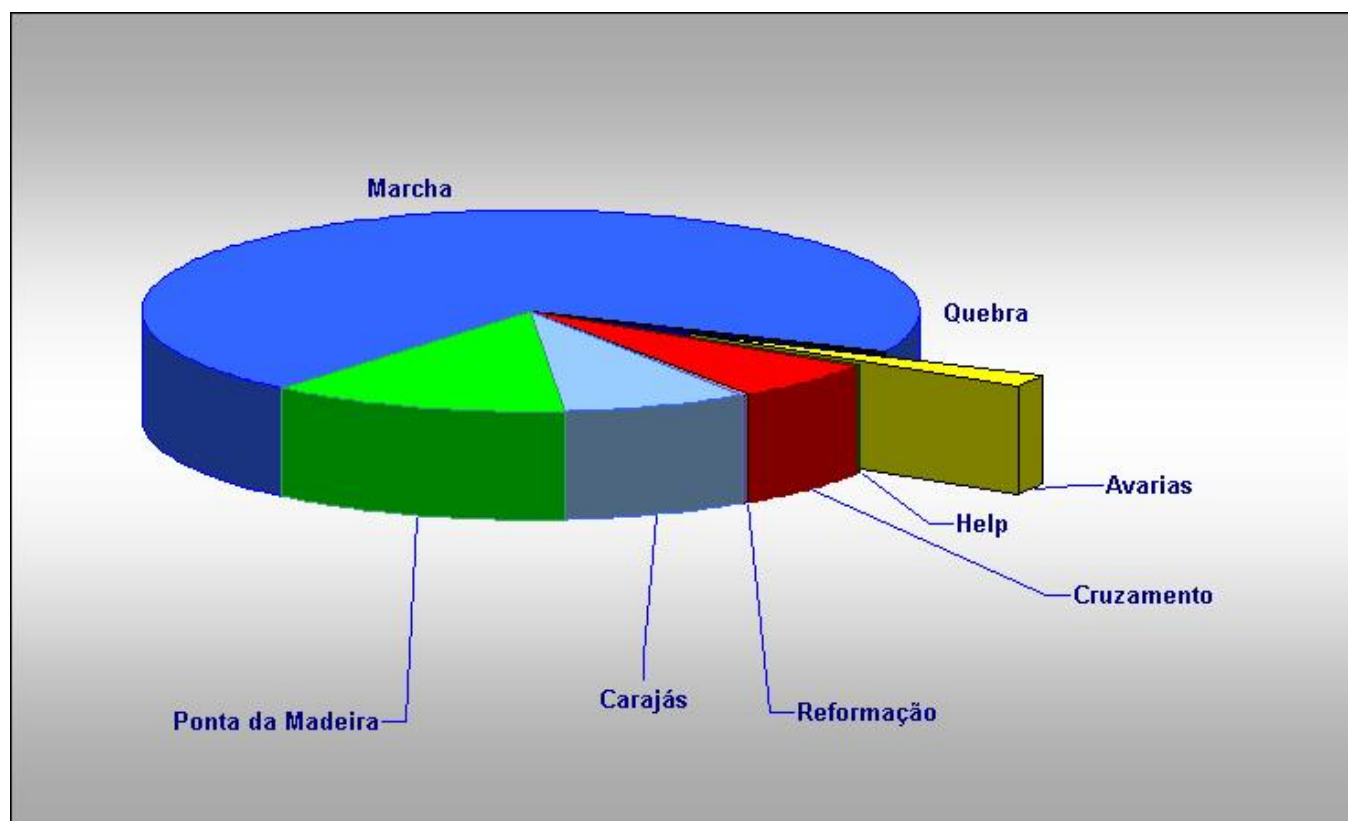
## Impacto de quebra de trens

	Trecho	km	TB/HP máx	vg/3.6kHP	Rampa eq.
1	km 892 - 824	68	11.263	327	0.04%
2	km 824 - 813	11	3.632	104	0.27%
3	km 813 - 751	62	11.746	341	0.03%
4	km 751 - 744	7	5.010	144	0.17%
5	km 744 - 731	13	17.222	500	0.00%
6	km 731 - 725	6	5.527	159	0.15%
7	km 725 - 710	15	17.222	500	0.00%
8	km 710 - 688	22	3.977	114	0.24%
9	km 688 - 670	18	17.222	500	0.00%
10	km 670 - 663	7	6.973	201	0.11%
11	km 663 - 652	11	17.222	500	0.00%
12	km 652 - 649	3	4.872	140	0.18%
13	km 649 - 627	22	17.222	500	0.00%
14	km 627 - 625	2	4.080	117	0.23%
15	km 625 - 607	18	5.408	157	0.15%
16	km 607 - 477	130	2.806	80	0.37%
17	km 477 - 216	261	8.473	246	0.07%
18	km 216 - 213	3	6.801	196	0.11%
19	km 213 - 192	21	12.469	362	0.03%
20	km 192 - 186	6	4.976	143	0.18%
21	km 186 - 129	57	8.370	243	0.08%
22	km 129 - 127	2	6.801	196	0.11%
23	km 127 - 100	27	10.850	315	0.04%
24	km 100 - 95	5	4.080	117	0.23%
25	km 95 - 78	17	17.222	500	0.00%
26	km 78 - 70	8	3.667	105	0.26%
27	km 70 - 19	51	14.122	410	0.02%
28	km 19 - 10	9	3.701	106	0.26%
29	km 10 - 0	10	6.579	191	0.12%



# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Avárias de locomotivas

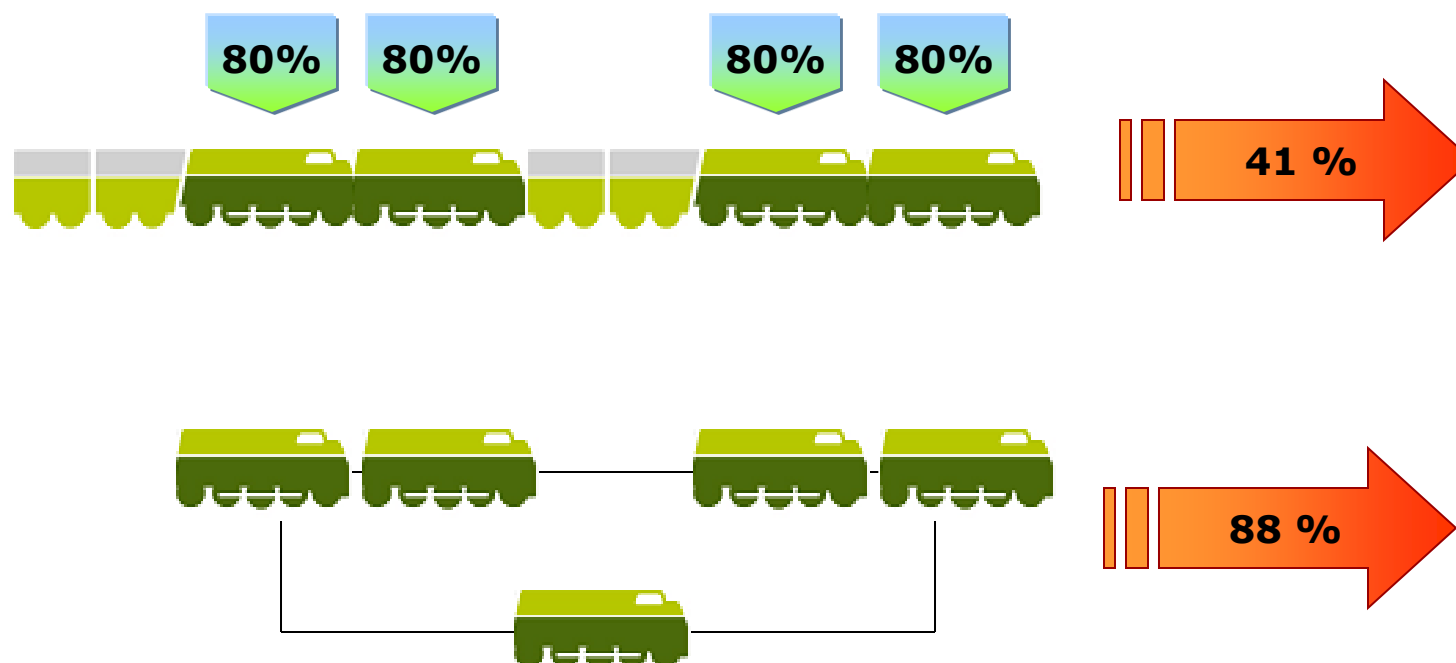
Confiabilidade operacional de um equipamento, tecnologia ou processo é a sua capacidade para cumprir sua função ou propósito, dentro de seus limites de projeto.

- Processos de manutenção;
- Tecnologia dos componentes;
- Solicitação de serviço, no caso a razão peso-potência;
- Redundância.

$$A \text{ varia} = A \text{ varia}|_{AS \text{ IS}} \cdot \left( \frac{1 - R_{(TB/HP)}}{1 - R_{(TB/HP)}_{AS \text{ IS}}} \right)$$

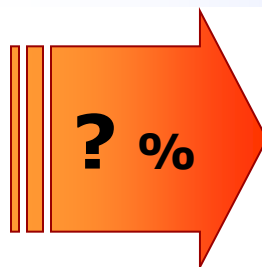
# Modelo paramétrico do ciclo

## Avárias de locomotivas

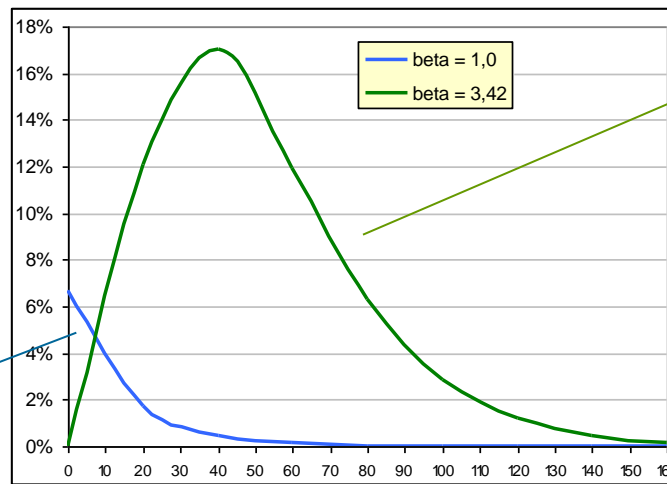


# Modelo paramétrico do ciclo

## Avarias de locomotivas



$$R(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta}\right]$$

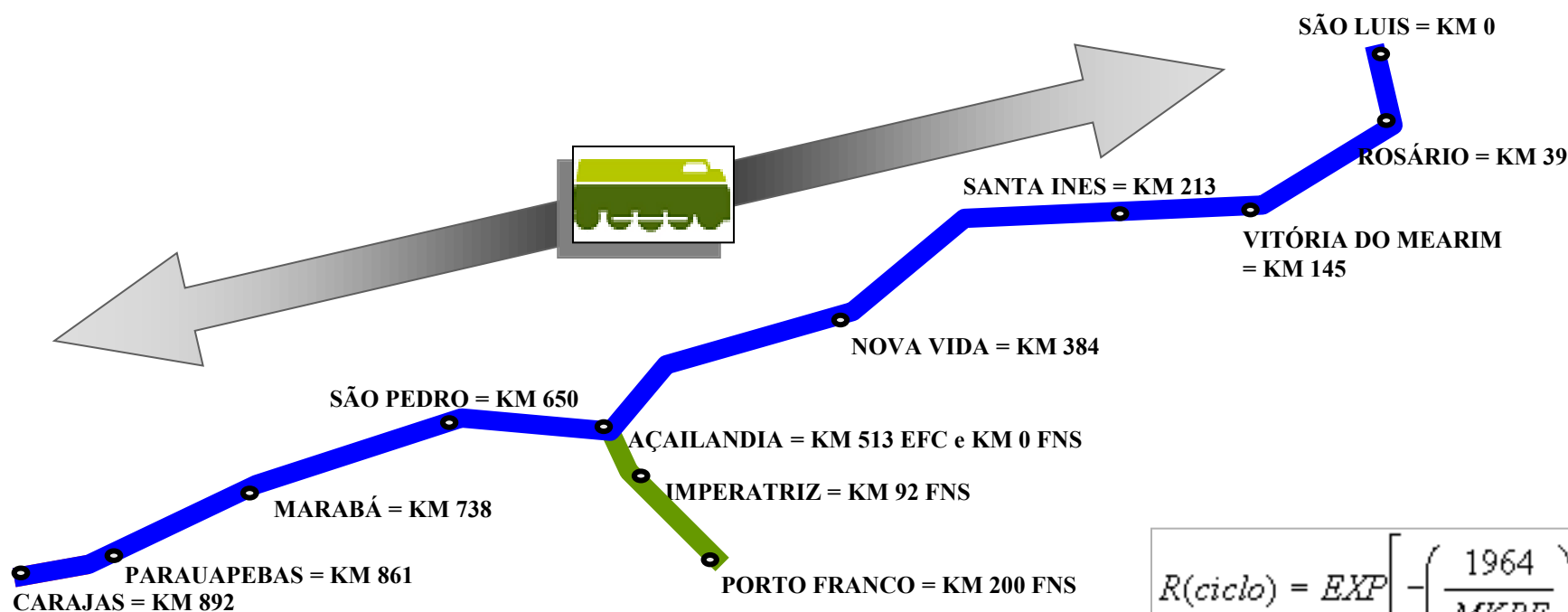


Falhas ocasionais ocorrendo a uma taxa constante, típica de processos sem manutenção preventiva

comum a falhas por envelhecimento ou desgaste em processos com manutenção preventiva

# Modelo paramétrico do ciclo

## Avarias de locomotivas



$$R(\text{ciclo}) = \text{EXP} \left[ - \left( \frac{1964}{MKBF} \right)^{3,42} \right]$$

R do trem atual é 79,8%

# Modelo paramétrico do ciclo

## Avarias de locomotivas



**C 36-7B**

**MKBF:**  
**59.600 km**  
( Set/03 )

**R = 89,3%**



**DASH 9-44CW**

**MKBF:**  
**71.600 km**  
( Set/03 )

**R = 91,0%**

Diferenças no MKBF para os mesmos processos de manutenção

Tecnologia dos componentes

Ciclo de vida dos componentes

Diferença na TB/HP

C36 - **3,548** TB/HP

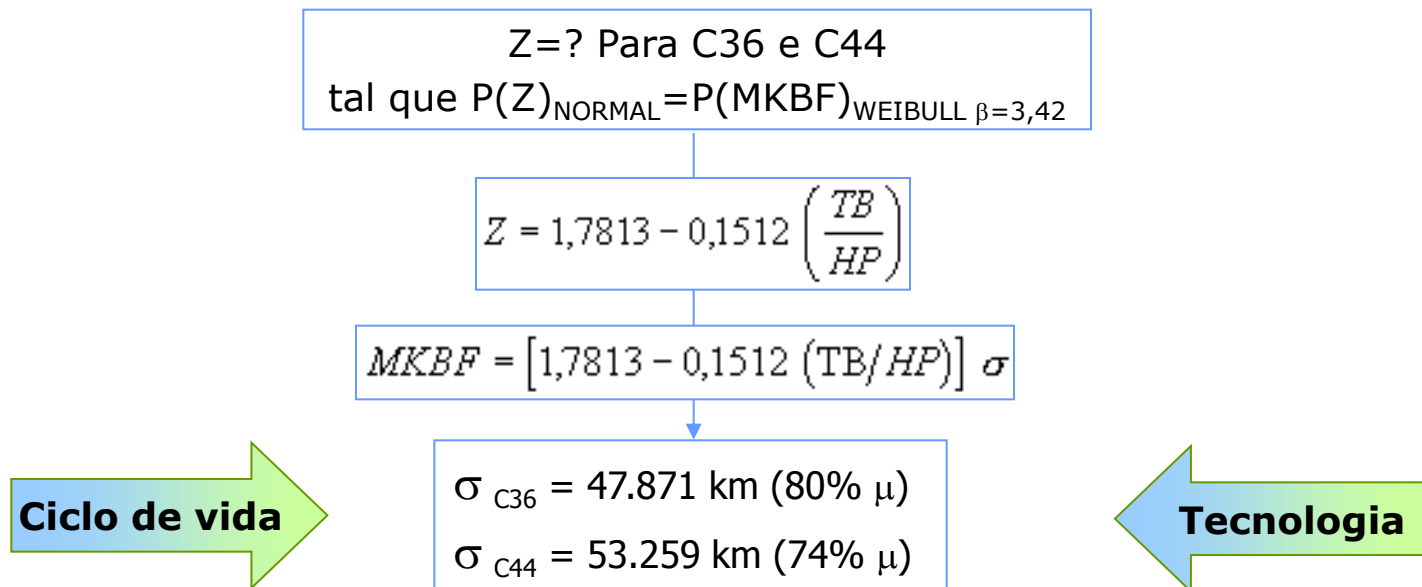
C44 - **2,903** TB/HP

# Modelo paramétrico do ciclo

## Avárias de locomotivas

Para estimar o relacionamento entre o MKBF e a razão (TB/HP), vamos lançar mão do fato de que para  $\beta=3,42$  a distribuição resultante de falhas se aproxima de uma curva normal: média ( $\mu$ ) e variância ( $\sigma^2$ ).

A distribuição normal padrão (média zero e desvio unitário) correlaciona os dois parâmetros em um único:  $Z = (\mu - x)/\sigma$





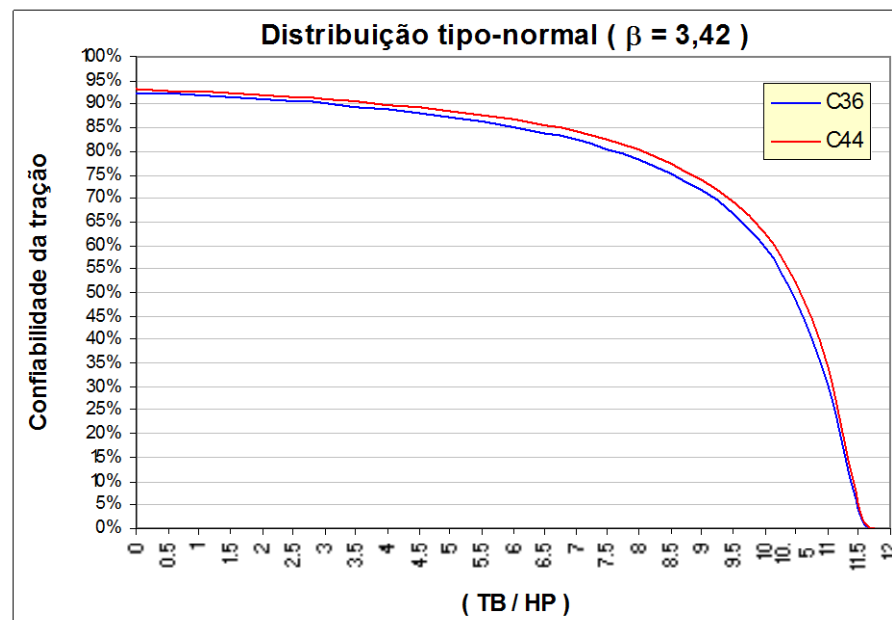
# Modelo paramétrico do ciclo

## Avarias de locomotivas

$$R(ciclo) = EXP \left[ - \left( \frac{1964}{[1,7813 - 0,1512 (TB/HP)] \sigma} \right)^{3,42} \right]$$

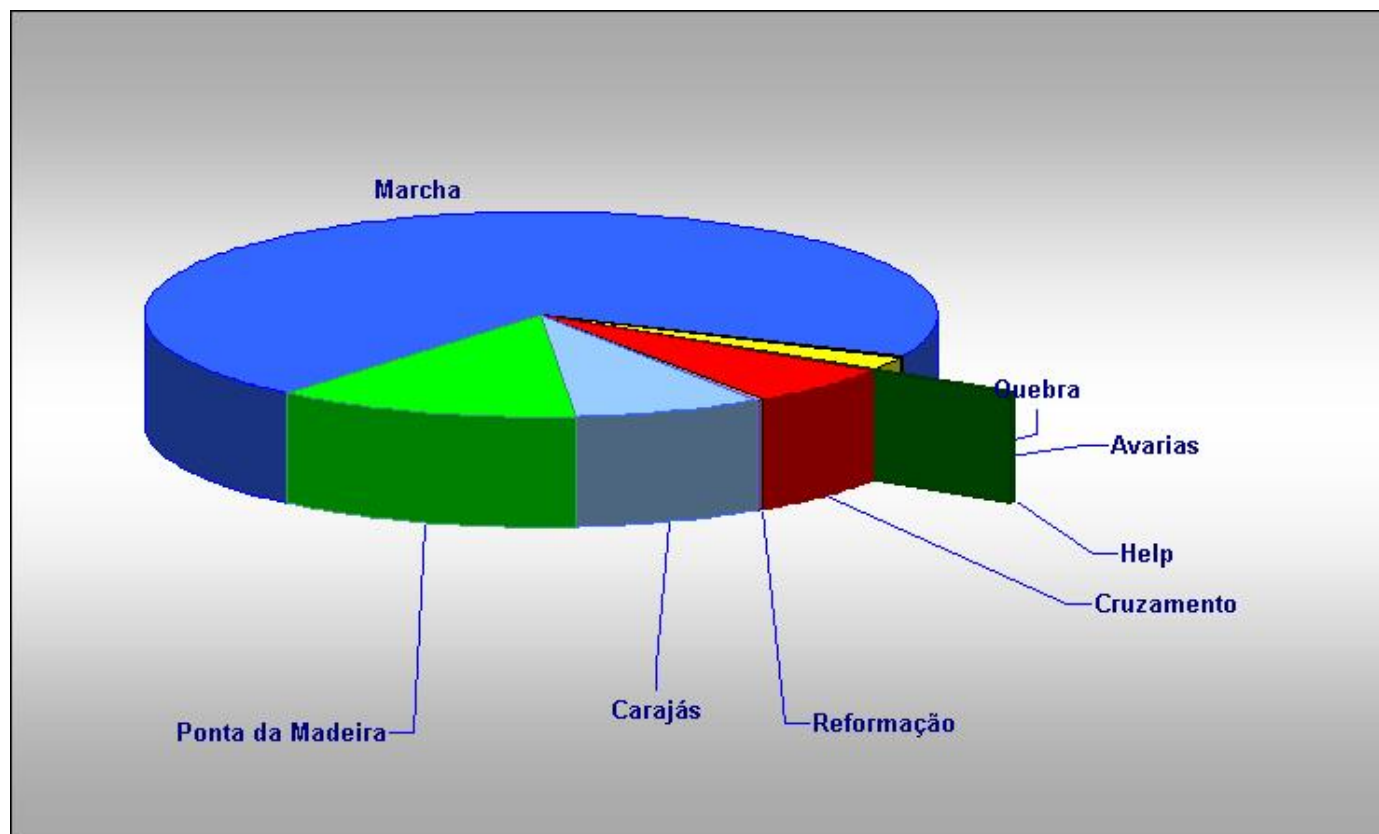
Ex:

Se aplicamos 2.903 TB/HP à C36 que é a atual solicitação para as C44 (na prática, reduzindo o trem para cerca de 170 GDTs), estimamos que o MKBF da frota C36 elevar-se-ia de 59.600 km para 64.263 km com conseqüente aumento na confiabilidade de 89,3% para 90,1%. Nota-se que, para a mesma solicitação atual da C44, a frota C36 ainda não atingiria o MKBF atual da primeira, 71.500 km, a despeito da melhoria na confiabilidade.



# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas

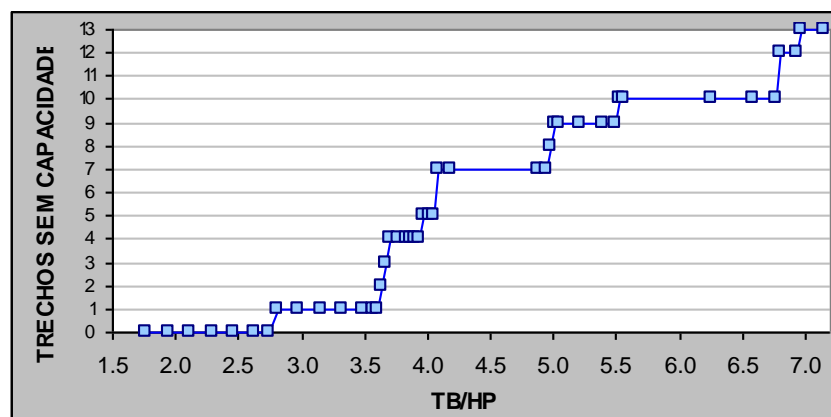


# Modelo paramétrico do ciclo

## Auxílios

O critério de alocação de helps assumido neste trabalho é o mais trivial possível, a saber, serão alocados helps sempre que uma composição não apresentar potência suficiente para "vencer" o trecho e chegar ao seu destino.

68  
simulações



# Modelo paramétrico do ciclo

## Auxílios

	Trecho	km	TB/HP máx	vg/3.6kHP	Rampa eq.
1	km 892 - 824	68	11.263	327	0.04%
2	km 824 - 813	11	3.632	104	0.27%
3	km 813 - 751	62	11.746	341	0.03%
4	km 751 - 744	7	5.010	144	0.17%
5	km 744 - 731	13	17.222	500	0.00%
6	km 731 - 725	6	5.527	159	0.15%
7	km 725 - 710	15	17.222	500	0.00%
8	km 710 - 688	22	3.977	114	0.24%
9	km 688 - 670	18	17.222	500	0.00%
10	km 670 - 663	7	6.973	201	0.11%
11	km 663 - 652	11	17.222	500	0.00%
12	km 652 - 649	3	4.872	140	0.18%
13	km 649 - 627	22	17.222	500	0.00%
14	km 627 - 625	2	4.080	117	0.23%
15	km 625 - 607	18	5.408	157	0.15%
16	km 607 - 477	130	2.806	80	0.37%
17	km 477 - 216	261	8.473	246	0.07%
18	km 216 - 213	3	6.801	196	0.11%
19	km 213 - 192	21	12.469	362	0.03%
20	km 192 - 186	6	4.976	143	0.18%
21	km 186 - 129	57	8.370	243	0.08%
22	km 129 - 127	2	6.801	196	0.11%
23	km 127 - 100	27	10.850	315	0.04%
24	km 100 - 95	5	4.080	117	0.23%
25	km 95 - 78	17	17.222	500	0.00%
26	km 78 - 70	8	3.667	105	0.26%
27	km 70 - 19	51	14.122	410	0.02%
28	km 19 - 10	9	3.701	106	0.26%
29	km 10 - 0	10	6.579	191	0.12%

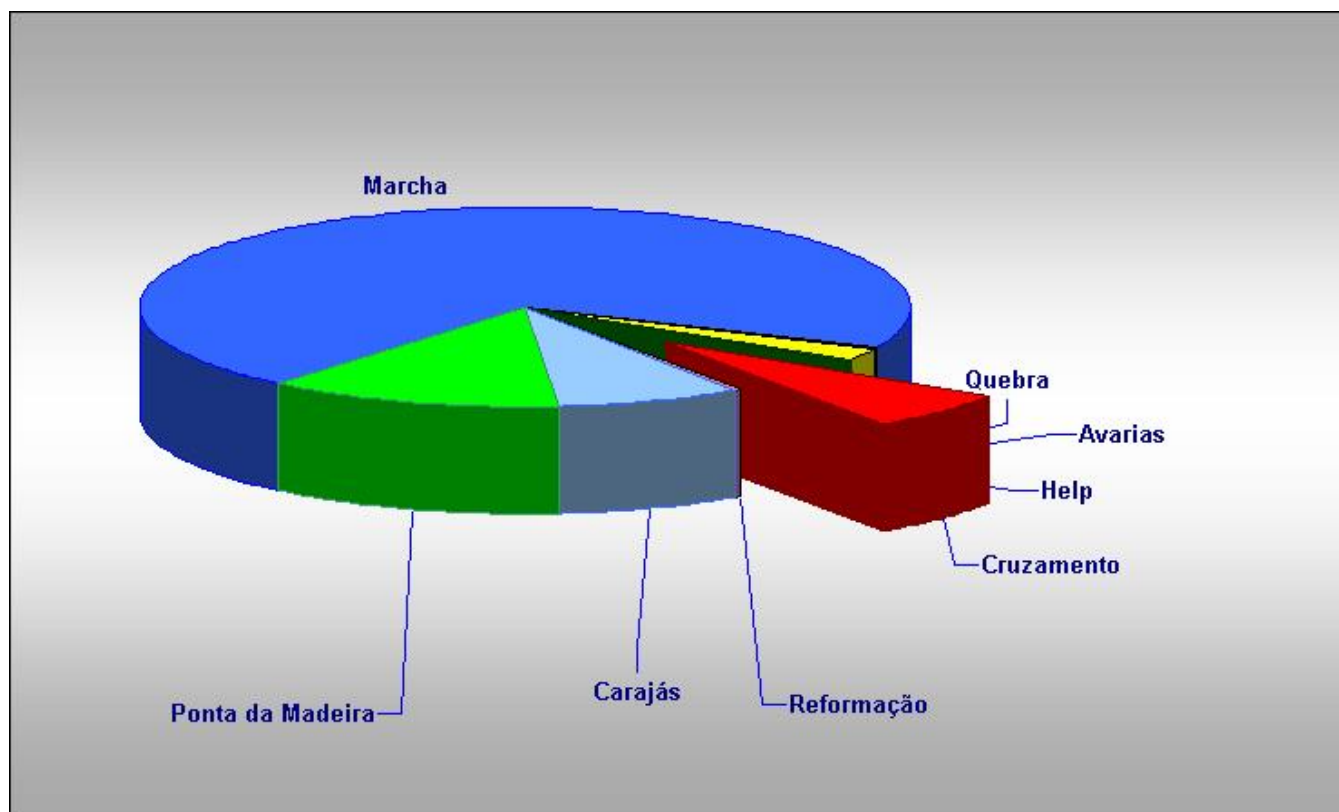


TB/HP	Trechos crit.	Rampa	Helps	km	ciclo
-	< 2.806	0		0	0.00
1	≥ 2.806	16	km 607 - 477	1	A 130 7.80
2	≥ 3.632	2	km 824 - 813	2	B 11 0.66
3	≥ 3.667	26	km 78 - 70	3	C 8 0.48
4	≥ 3.701	28	km 19 - 10	4	C 68 4.08
5	≥ 3.977	8	km 710 - 688	5	D 22 1.32
6	≥ 4.08	24	km 100 - 95	6	C 90 5.40
7		14	km 627 - 625	7	A 150 9.00
8	≥ 4.976	12	km 652 - 649	8	A 175 10.50
9	≥ 5.01	20	km 192 - 186	9	E 6 0.36
10	≥ 5.527	4	km 751 - 744	6	F 7 0.42
11		15	km 625 - 607	11	A 175 10.50
12	≥ 6.801	6	km 731 - 725	12	F 26 1.56
13	≥ 6.973	29	km 10 - 0	13	C 100 6.00

- Trechos sem capacidade, separados por distâncias < 50 km, são atendidos pelo mesmo conjunto helper;
- Para definição do ciclo de help, considera-se vel. média de 25 km/h no sentido exportação e 50 km/h no retorno.

# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Cruzamentos

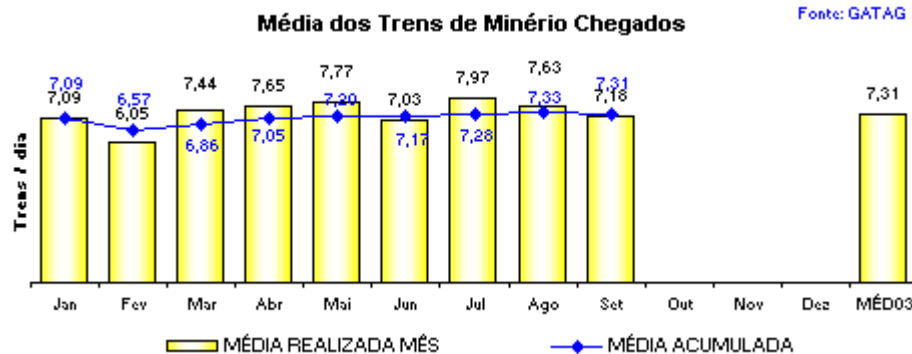
$$tmp\_cruzamentos = nr\_cruzamentos \times \overline{tmp}_{EVENTO}$$

$$nr\_cruzam\_ciclo = TremP\_malha + |TremM\_malha + TremC\_malha|_{EXPORTAÇÃO}$$

$$Trens\_malha = (Trens\_exportação \times tmp\_viagem\_exportação)$$

$$TransitTime_{EXPORTAÇÃO} = Marcha_{EXPORTAÇÃO} + Quebra + \sum_{i=1}^{Nr\_helps} help + \left( A \text{ varia} / 2 \right) + Cruz\_Trem - P$$

Trem de passageiros	P	Ambos os sentidos
Trem de minério par	M	Exportação
Trem cargueiro par	C	Exportação
Trem de minério impar	M	Retorno
Demais trens	-	Ambos os sentidos

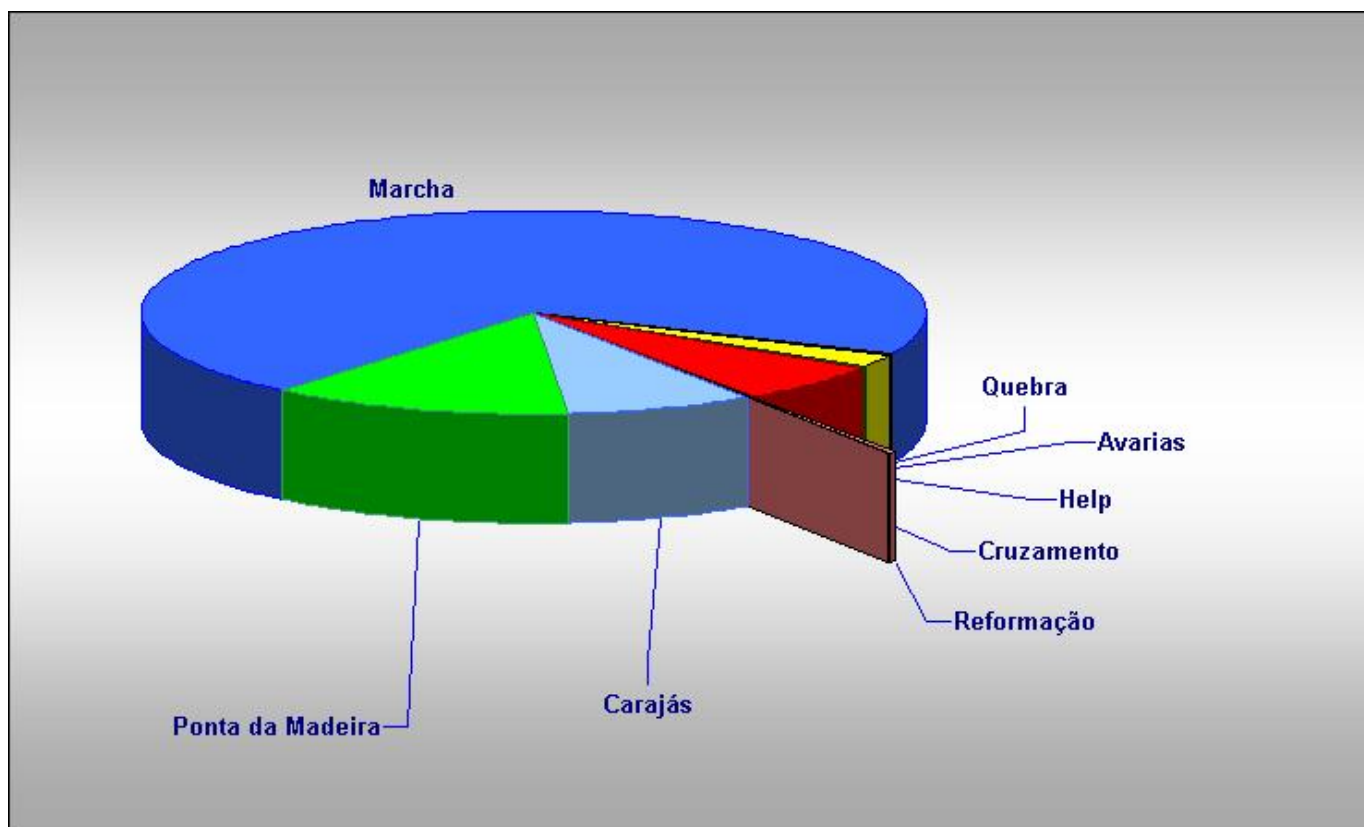


Para 7,31 pares/dia de minério, tempo CKS-TPM=24,5 h, 4 trens na malha exportação entre C e P e 15 min/cruz, temos:

Impacto cruzamentos = 2,9 h ( trem atual )

# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Reformação em Parauapebas

Aplica-se apenas a cenários em que os tamanhos do trem diferem no sentido exportação e retorno.

- Aguardando trens de retorno na razão ( $vg\_carregados / vg\_retorno$ ) <sup>(1)</sup>
- Manobra para anexação dos vagões e locos até a formação exportação
- $link^{(2)}$ , caso o trem exportação seja de tração distribuída

$$PA = \frac{vg\_carregado}{vg\_retorno} \left( \frac{24}{tr\_dia\_retorno} \right) + Manobra + tmp\_link$$

- (1) O trem maior será sempre o exportação, de modo que este não pára para cruzamentos, o que impactaria negativamente a EE.
- (2) Considera-se 40 min para link simples e mais 20 min para link de cada bloco adicional.



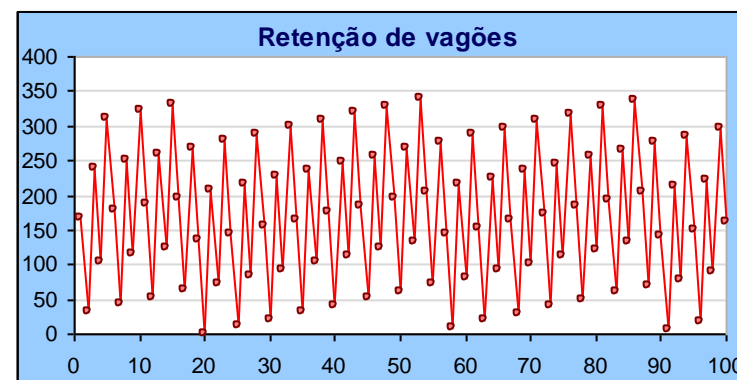
# Modelo paramétrico do ciclo

## Reformação em Parauapebas

Ex: Trem de 340 GDT com retorno de 206 GDT. Volume de 8 trens/dia no retorno.

Tam. export / return	1.65
Tr return / Tr export	1.67
Espera média p/ trem	5.0 h

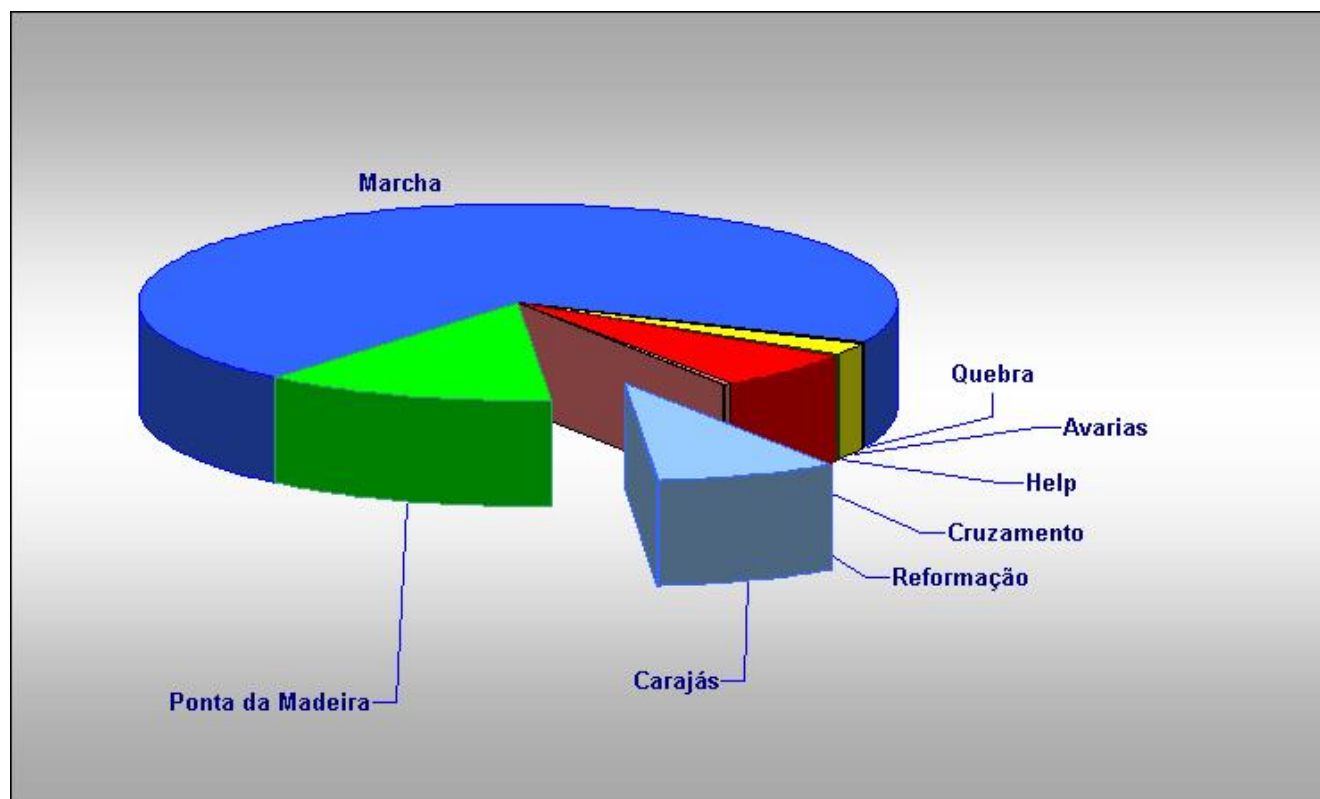
Dia	Horário	Total trens retorno	Média acumulada		Total trens exp.
		100	168	60	
		chegada trem retorno	retenção	ret.média	despacho exp.
1	0:00	1	167	167	0
1	3:00	2	33	100	1
1	6:00	3	239	146	0
1	9:00	4	105	136	1
1	12:00	5	311	171	0
1	15:00	6	177	172	1
1	18:00	7	43	154	1
1	21:00	8	249	166	0
2	0:00	9	115	160	1
2	3:00	10	321	176	0
2	6:00	11	187	177	1
2	9:00	12	53	167	1
2	12:00	13	259	174	0
2	15:00	14	125	170	1
2	18:00	15	331	181	0
2	21:00	16	197	182	1



Para as mesmas configurações, com 12 trens/dia de retorno, Espera média = 3,3 h

# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

**Carajás**

Na pêra de CKS os tempos são idênticos para locos e vagões e se dividem nas seguintes componentes:

- Impacto em função de baixo estoque de minério
- Carregamento na pêra
- Outros tempos

**Depende do tamanho do trem.**

Admite-se a evolução linear deste tempo com o nr. de vagões

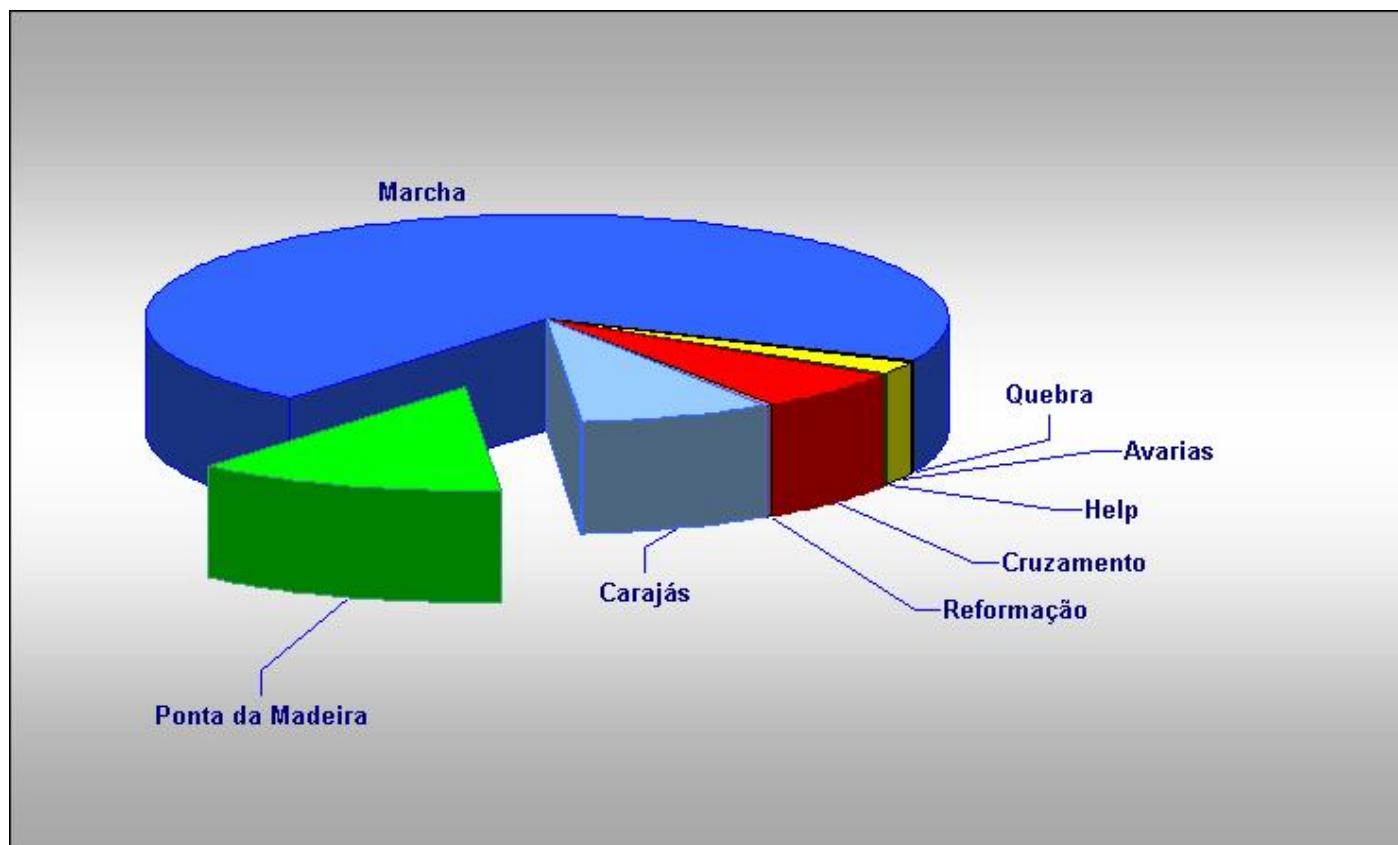
Na estatística de Set/03 , tínhamos 4,267 h de permanência média em CKS. O impacto dos últimos 6 meses era 13,1 min em função de baixo estoque e 54,1 min em carregamento.

$$CKS = \text{Impacto\_baixo\_estoque} + \text{Carregamento} + \text{Outros}$$

$$CKS = 0,22 + 0,90 \cdot \left(\frac{vg}{206}\right) + 3,147$$

# Modelo paramétrico do ciclo

## Componentes do ciclo modeladas



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

No terminal TPM, os tempos diferem para locos e vagões. Para vagões, temos (média de Set/03 ref. Aos últimos 6 meses):

Escala em “degraus”  
sempre que o  
tamanho do trem  
excede um múltiplo  
inteiro do produto  
entre o nr. viradores  
e a capacidade do  
mesmo

Manobra de Recepção	1.024	15%
Aguardando descarga	0.847	12%
Descarga	1.939	28%
Manobra de classificação	1.196	17%
Inspeção manutenção	0.115	2%
Manobra de formação	1.376	20%
Ag. Locomotiva	0.029	0%
Ag. Equipe	0.192	3%
Ag. Circulação	0.159	2%
<b>CICLO VAGÃO TPM</b>		<b>6.878</b>

Depende linearmente  
do tamanho do trem

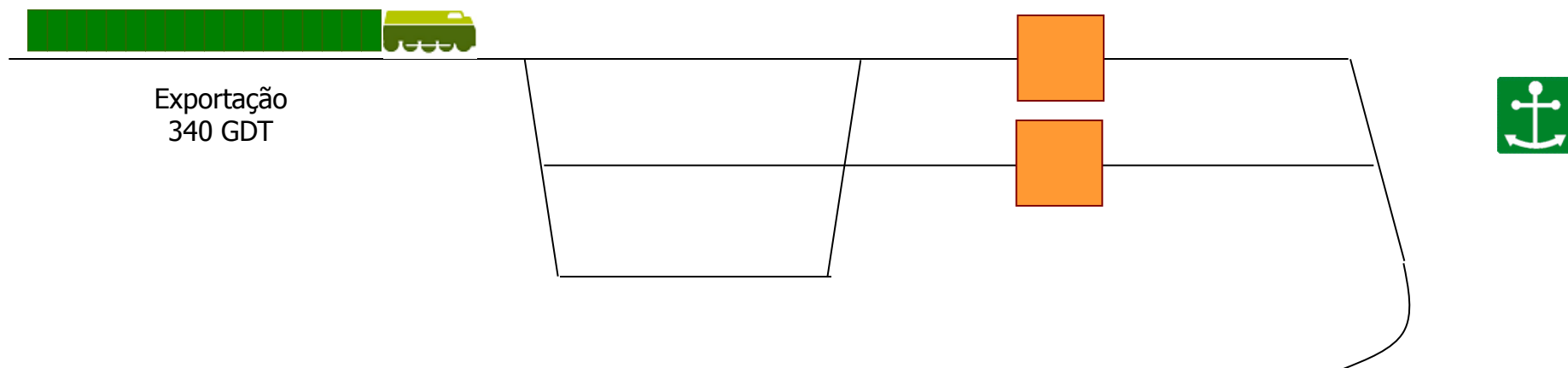
$$TPM_{VAGÕES} = \left[ 1,376 \cdot \frac{vg_{RETORNO}}{206} \right] + \left[ 2,22 \cdot \frac{vg_{EXPORT}}{206} \right] + \left[ 0,847 + 1,939 \cdot \left( \frac{vg_{EXPORT}}{Cap\_virador/nr\_viradores} \right) \right] + [tmp\_link]_{RETORNO} + 0,495$$

OBS: O tempo de permanência em Set/03 estava na faixa de 10,45 h. De fato, os registros de permanência ao longo da primeira quinzena de Set/03 apresentam grande dispersão variando de 6,15 a 15,03 h. O desvio-padrão desta amostra é de 2,8 h.

# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

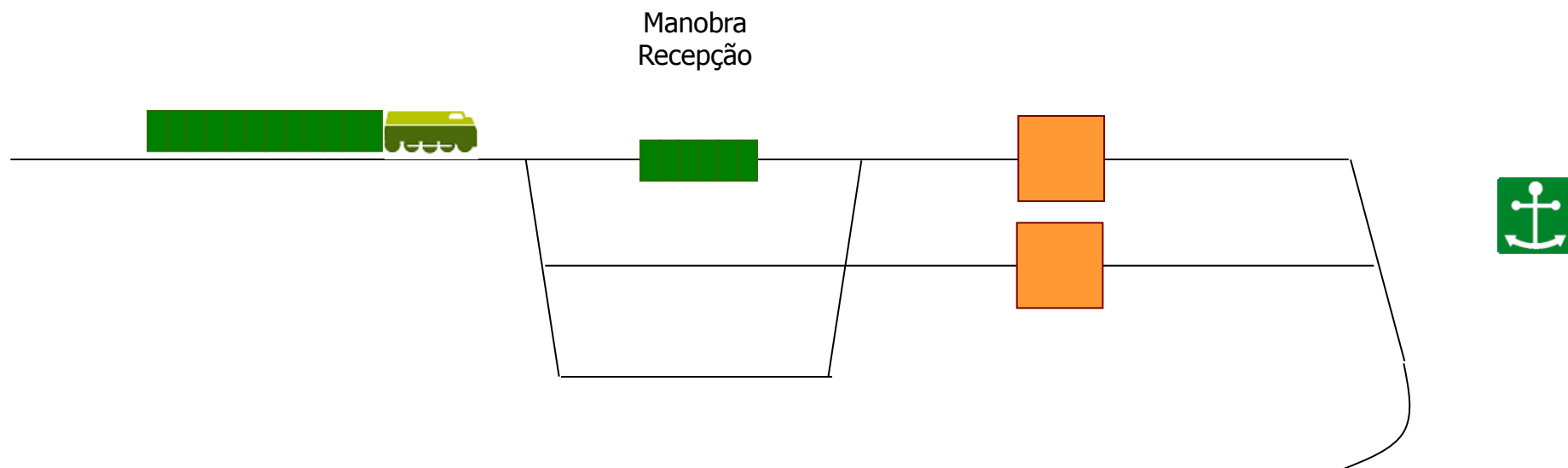
00:00



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

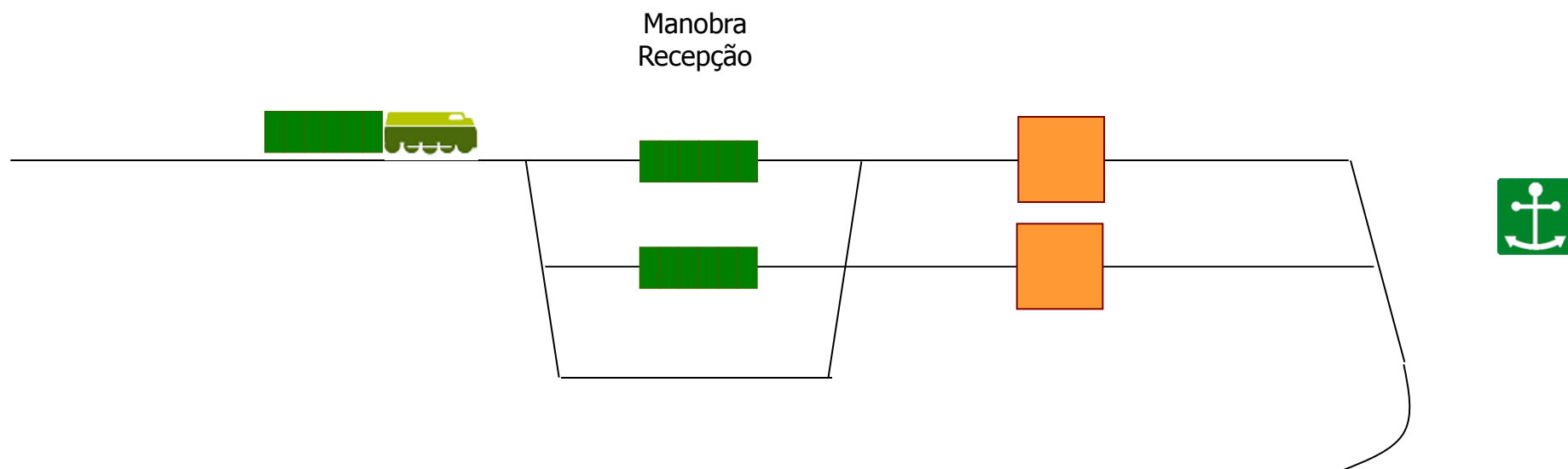
00:33



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

01:07

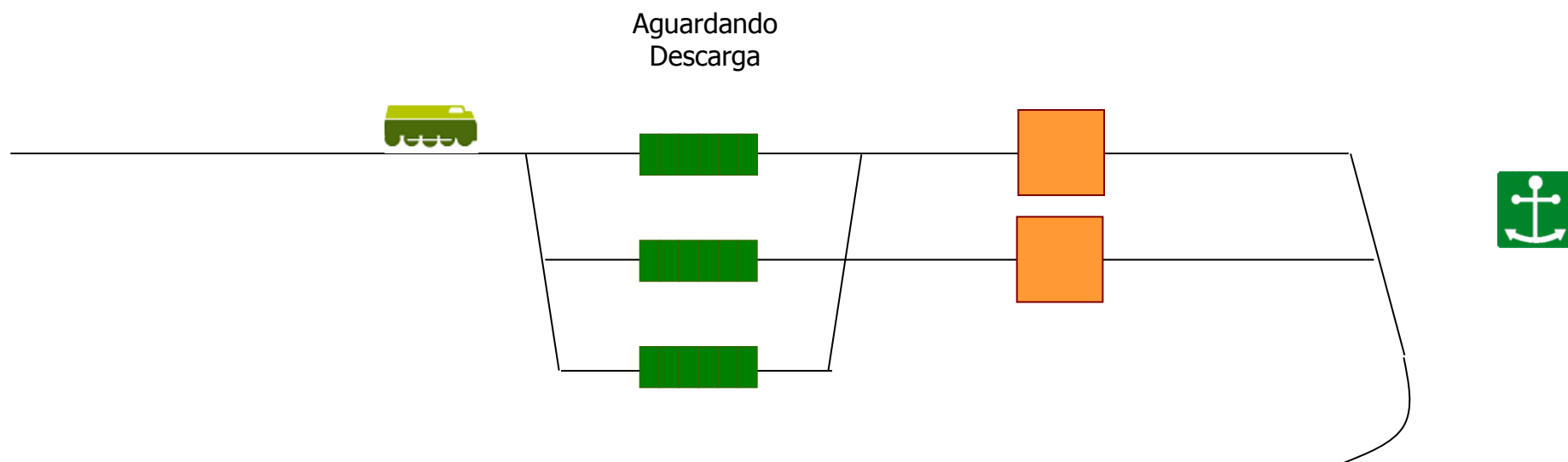




# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

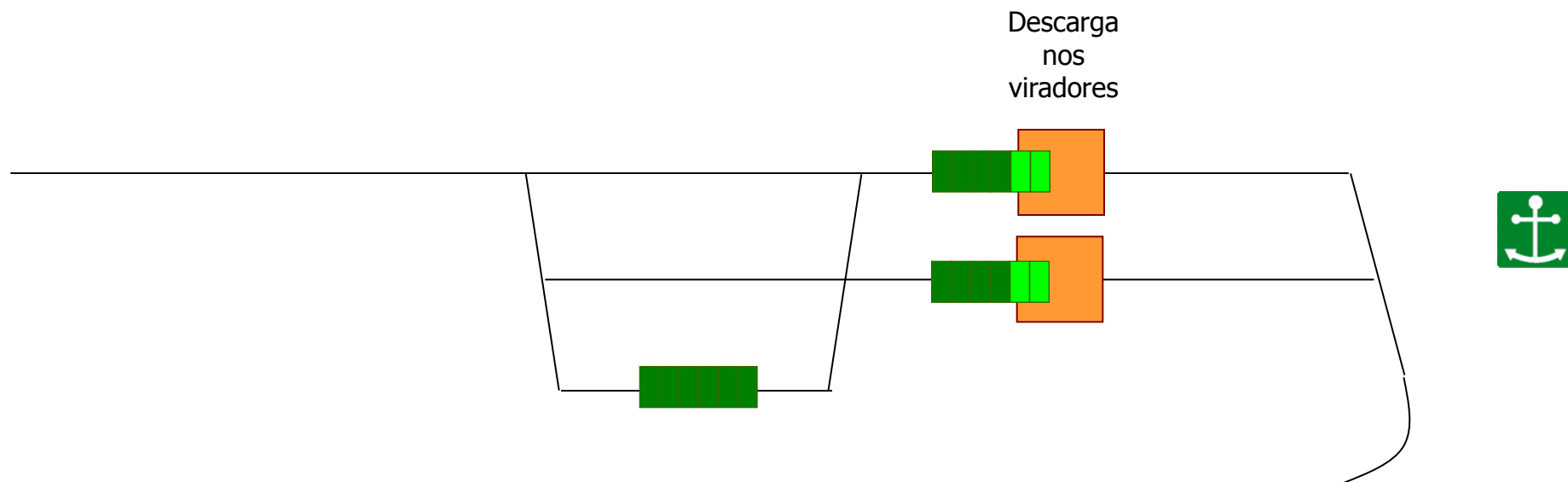
02:32



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

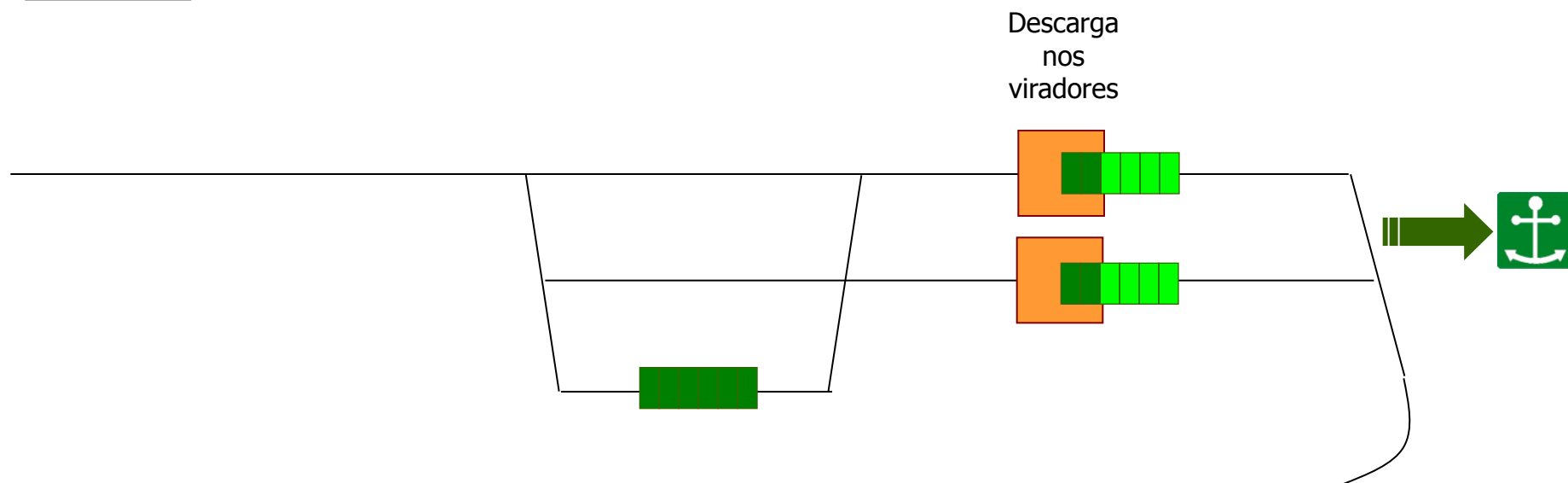
02:32



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

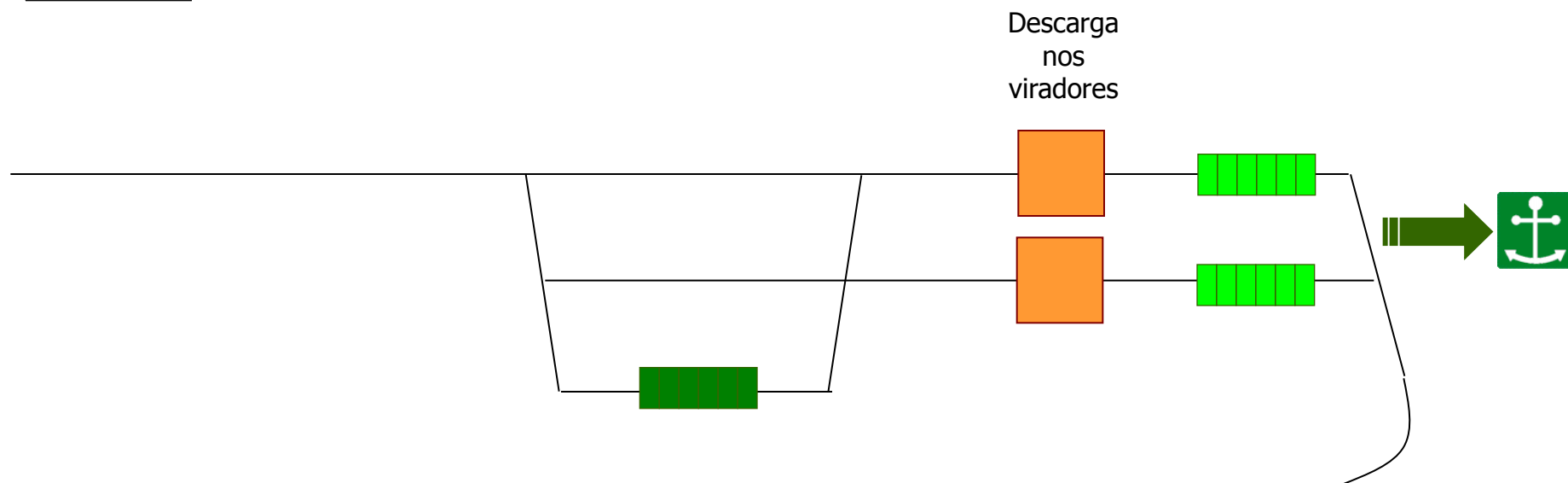
02:32



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

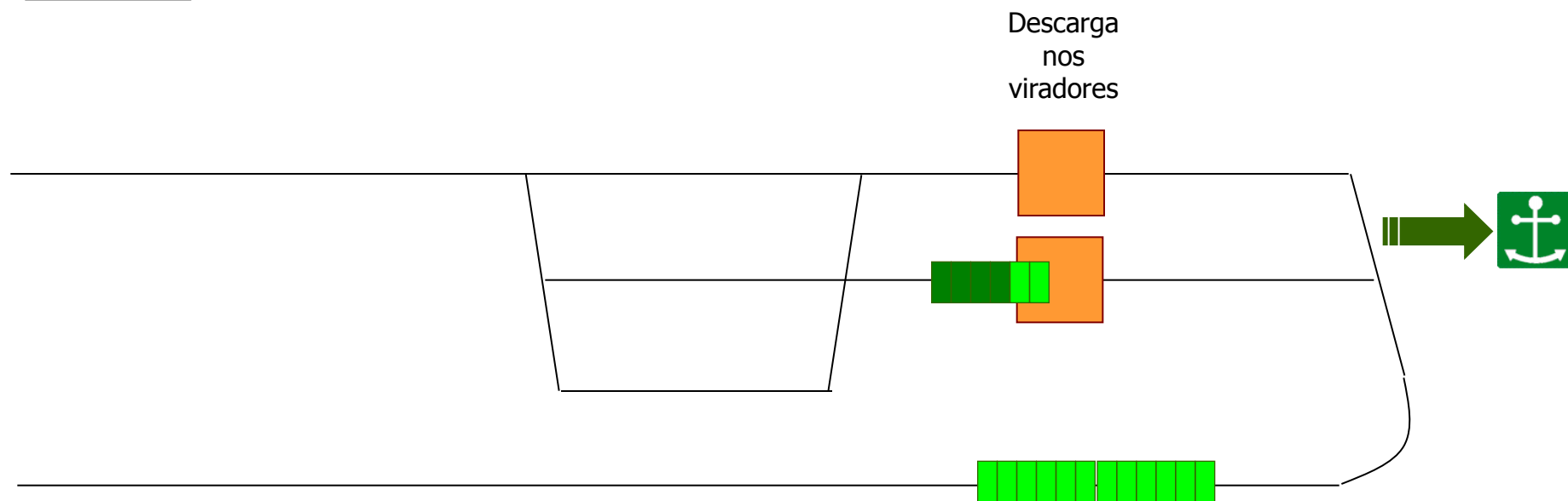
04:28



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

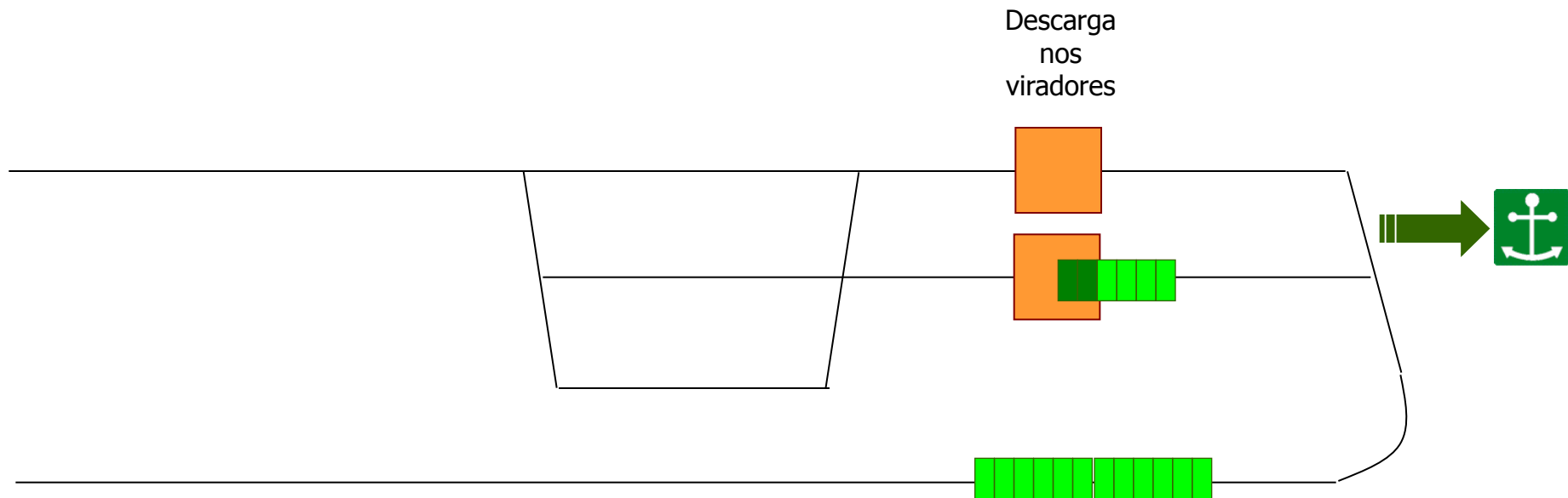
04:28



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

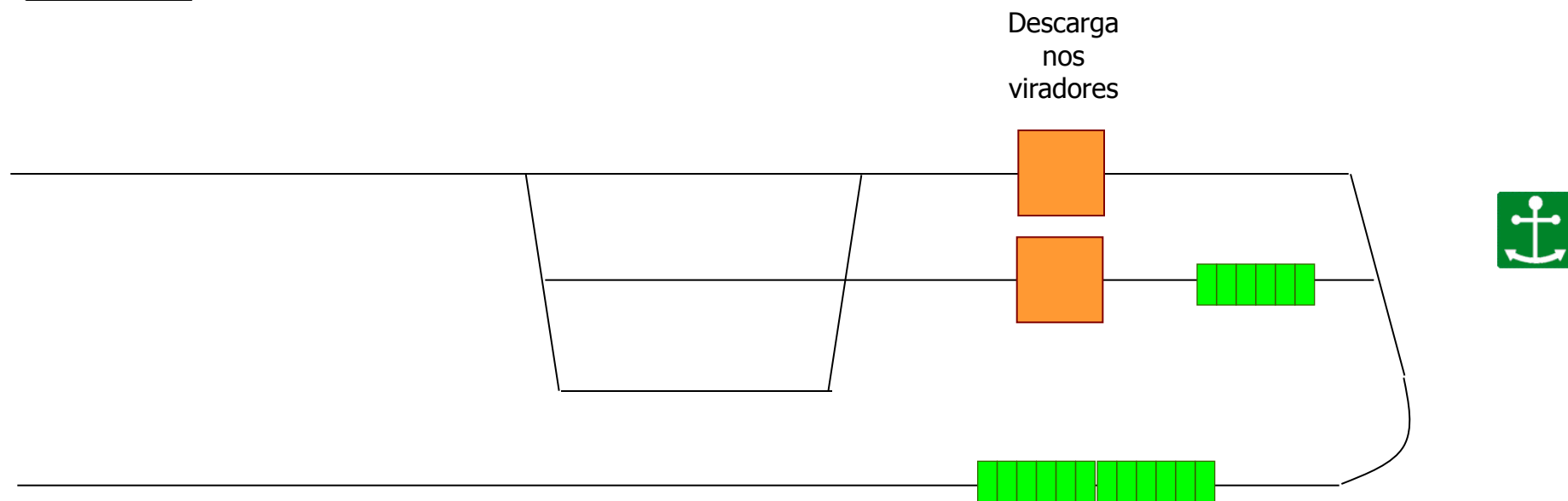
04:28



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

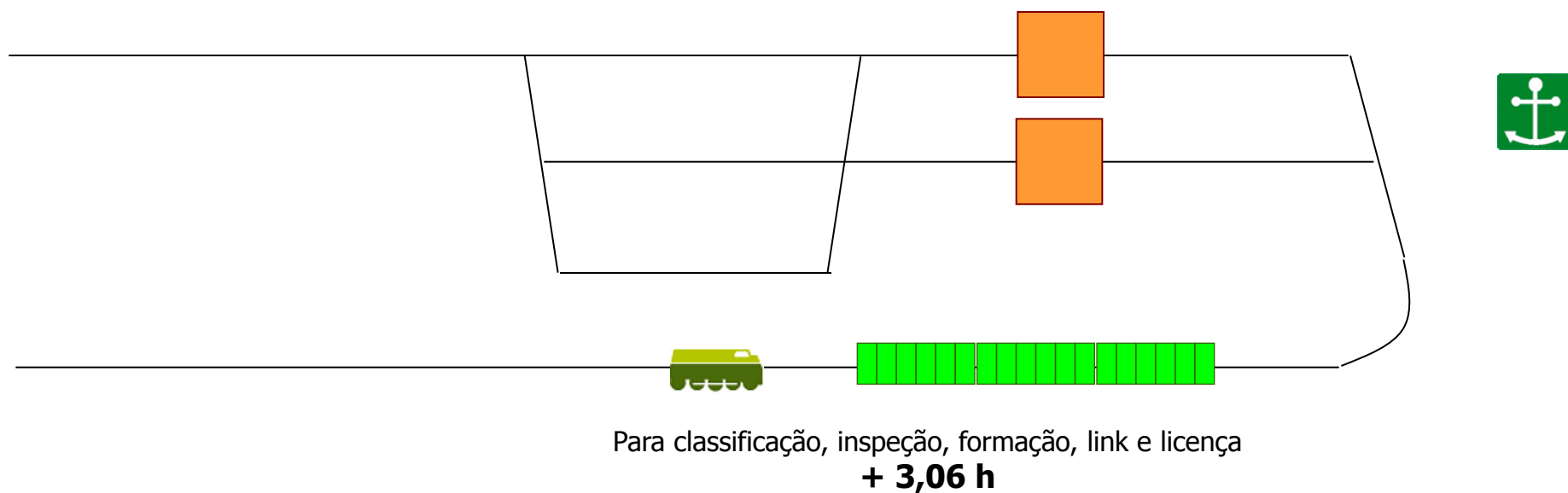
06:25



# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - vagões

06:25





# Modelo paramétrico do ciclo

## Terminal Ponta da madeira - Locomotivas

Tempos no terminal TPM para locos:

Manobra de recepção .....	1,024 h
• Inspeção na oficina .....	2,19 h
Manobra de formação .....	1,376 h
• Aguardando equipagem .....	0,192 h
• Aguardando licenciamento .....	0,159 h

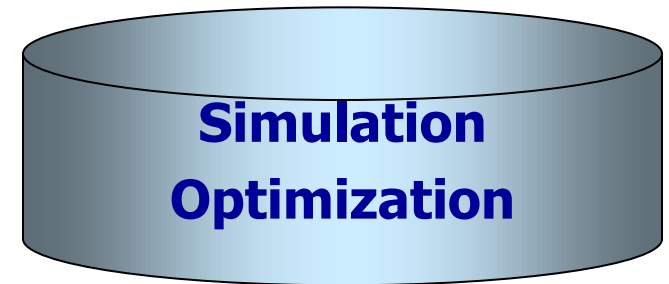
Dependem linearmente  
do tamanho do trem



$$TPM_{LOCOS} = \left[ tmp\_recepção \cdot \frac{vg}{206} \right] + \left[ tmp\_formação \cdot \frac{vg}{206} \right] + [tmp\_link] + outros$$

$$TPM_{LOCOS} = \left[ 1,376 \cdot \frac{vg_{RETORNO}}{206} \right] + \left[ 1,024 \cdot \frac{vg_{EXPORT}}{206} \right] + (tmp\_link) + 2,541$$

# Otimização e restrições



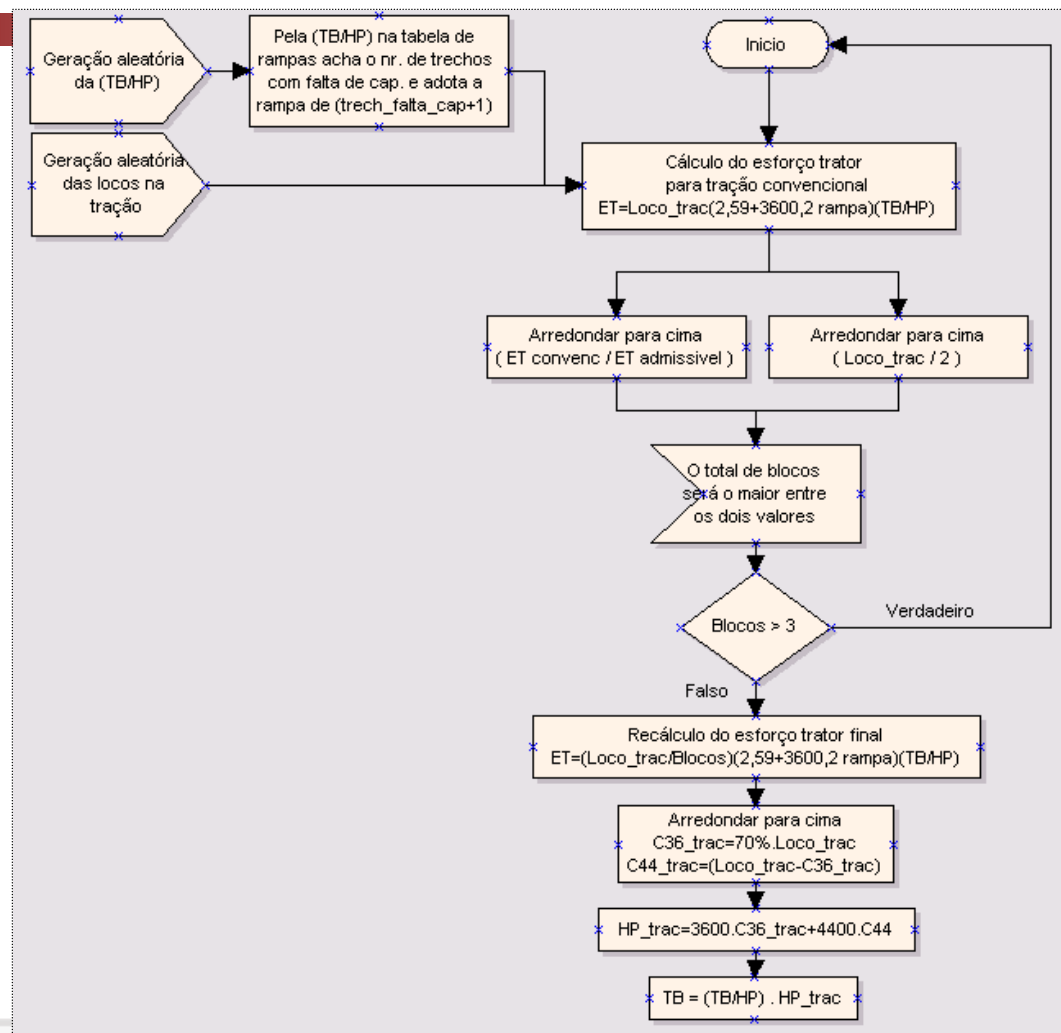
## Condições de contorno:

- A razão ( TB/HP ) varia na faixa de 1,475 a 7,146 (trens com mais de 2,737 TB/HP, exigirão auxílios)
- No máximo, uma única loco rebocada, C36, será admitida para redundância da tração no trem carregado
- No máximo, 6 locos serão admitidas para tração do trem-M (6 C36 sem nenhuma rebocada, falibilidade de 50%)
- Consideramos uma restrição de 9000 HP/bloco de locos. Como temos no máximo 6 locos no trem, a combinação destas duas regras implica em que a maior distribuição de tração só poderá ocorrer em 3 blocos, fora help
- A regra do limite de 9000 HP aplica-se também aos auxílios
- O consumo considerado para cálculo será o da tração principal do trem em todo o trajeto;
- Blocos retorno: O mesmo do trem exportação sempre que o trem for igual em ambos os sentidos. Quando o trem for limitado pelo atual tamanho dos pátios, ou seja retorno de 206 GDT ou menor, a tração no retorno será sempre convencional, mesmo que o trem carregado opere com tração distribuída;

## Otimização e restrições

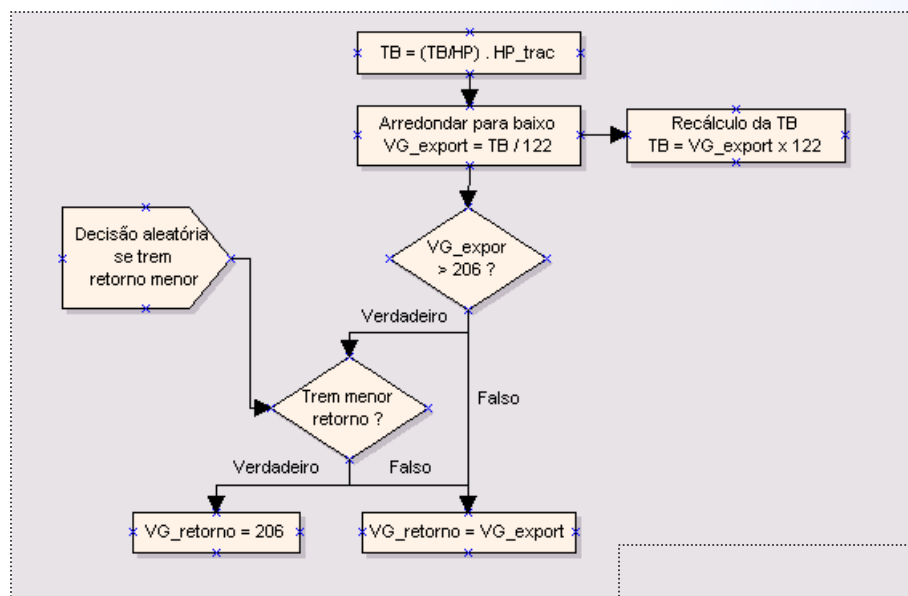
- Máximo esforço admissível para os engates é 170 t. Esforços abaixo de 60 t estarão sob vida infinita
- Peso médio do GDT carregado fixo em 122 t com tara de 20 t. O retorno é sempre vazio; · Contamos as SD60 (3800 HP) na frota C36 (3600 HP) e as C40 (4000 HP) na frota C44 (4400 HP)
- A frota C36 representa 70% da frota de locos para minério. Admitimos que as frotas são aleatoriamente distribuídas pelos trens e então, a tração dos trens será sempre mista, com 70% de C36 e 30% de C44, quando temos mais de 2 locos no trem. Para as situações de tração com 1 e 2 locos, os arredondamentos permitem apenas tração de C36
- Um rendimento de 97% é admitido para o sistema Norte, assim consideramos 355 dias/ano
- Para efeito de cálculo, vamos admitir um cargueiro médio de 2 SD40 + 4.500 TU e considerar que o ciclo deste trem permanece inalterado com relação ao atual. Assim, o número e necessidades destes trens na malha irão variar exclusivamente com o aumento do volume de carga geral
- A indisponibilidade e não-utilização da disponibilidade serão de 22% para locos e 2% para vagões;
- Frota existente de locos para minério (C44, C36, SD60, C40): 59. Frota existente de GDTs: 3986;
- Todos os resultados calculados serão referentes às necessidades operacionais. Não são considerados os efeitos de tributação.

# Rotina de cálculo

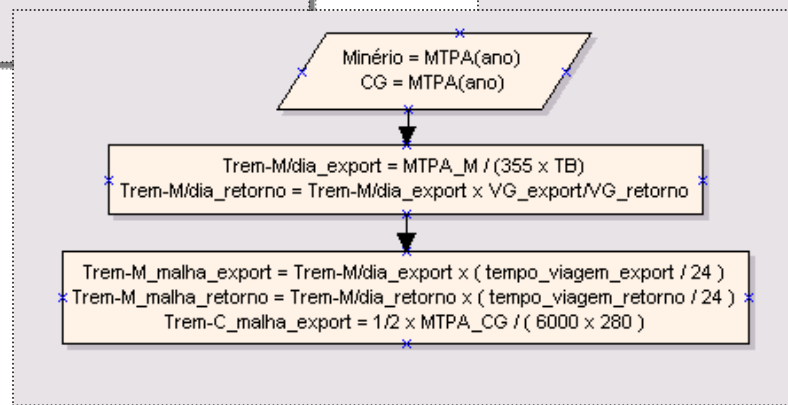
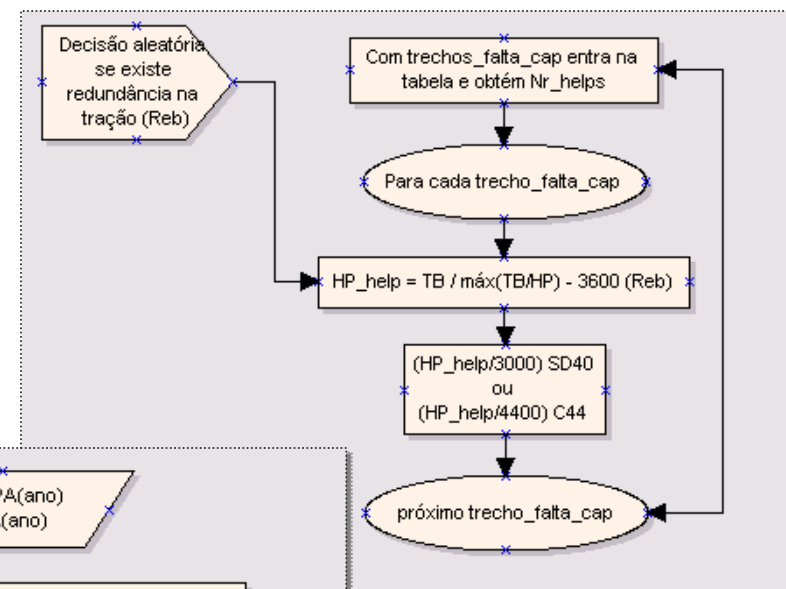


## Trem e ciclo associado

# Rotina de cálculo



## Trem e ciclo associado



# Rotina de cálculo

## Trem e ciclo associado

O conjunto destes parâmetros permite calcular o ciclo de minério para locomotivas e vagões:

1. Os tempos de marcha e equipagem para o trem vazio e carregado são calculados pelas respectivas TB/HP
2. O impacto de avarias é calculado com base nas falibilidades as quais, por sua vez, são obtidas considerando a razão TB/HP, para ter o MKBF esperado das C36 e C44 nestes cenários, e o total de locomotivas C36 e C44 em série e paralelo.
3. O impacto de quebras de trem é calculado pelo maior esforço longitudinal obtido na rotina anterior
4. O tempo gasto com a anexação dos helps é calculada em função do número total de auxílios necessários;
5. O impacto de cruzamentos vem do total de cruzamentos no ciclo que é a adição do número de trens M e C na malha, ambos no sentido exportação, com o trem P na malha
6. Se o trem de retorno difere do trem exportação, o tempo de reformação do trem deve ser calculado a partir dos trens/dia de retorno
7. O tempo no terminal CKS é calculado em função do número de vagões no sentido exportação
8. O tempo no TPM é calculado de forma diferenciada para locos e vagões a partir do tamanho dos trens de retorno e exportação além do número de blocos na tração do trem de retorno (link do locotrol)
9. A soma destas componentes compõe o ciclo total de minério para locos e vagões.

# Rotina de cálculo

## Necessidade de pátios

### EXTENSÃO

$$Sobra(m) = CTU - 2 \times DMSB - 10 \cdot Vg\_retorno - 22 \cdot (Lo\ cos\_trac + Reb) - 20$$

### CONSTRUÇÃO

$$Capacidade\_pares\_trem = k \frac{(24 - T_{INDISP\_VIA})}{Headway}$$

$k = 0,75$

Média diária de 2 h de indisponibilidade da via para manutenção

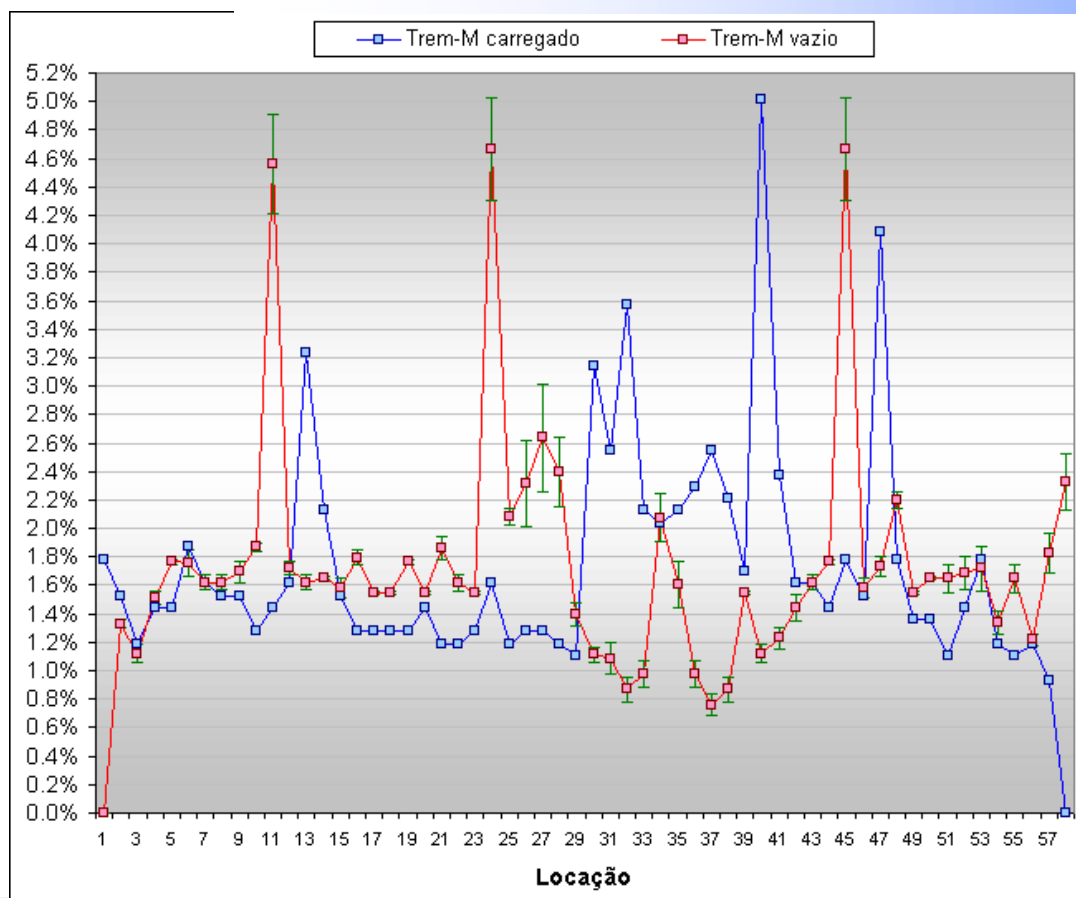
CTU = Comprimento do trem acrescido de 30 m ( 2.DMSB + 20 m de segurança )

Extensão total = CTU + 250 m (diferença padrão entre os AMVs e os marcos)

Mínima extensão total: Para trem de 206 GDT

# Rotina de cálculo

## Necessidade de pátios





# Rotina de cálculo

## Cenários sem novos pátios

Marcha	21 h
Headway exportação	5%
	1.1 h

Headway retorno	0.5 h
-----------------	-------

Cap.trecho	11 pares
Tráfego	22 pares

Sobrecap.	207%
-----------	------

Sem pátios, os cruzamentos ocorridos neste trecho irão acrescentar um atraso proporcional à sobrecapacidade

Novo headway exp.	2.2 h
Atraso	1.1 h

Mas o ciclo como um todo será incrementado deste atraso ponderado pela probab. dos cruzamentos ocorrerem neste trecho

Elevação no tempo médio de espera/cruzamento	0.1 h
--	-------

# Função de mérito

$$\begin{aligned}
 HP &= Trem\_dia\_export \times (Locos\_export + Rebocadas) \times \left( \frac{ciclo\_loco}{24} \right) + \sum_{i=1}^{Nr\_helps} help_{(i)} \\
 GDT &= (Trem\_dia\_export \times VG\_export) \times \left( \frac{ciclo\_vg}{24} \right) \\
 Pátios\ (m) &= \sum_{PATIOS\_MENORES} (-Sobra_{(M)}) + Novos\_pátios\ (Comprim\_trem_{(M)} + 2DMSB + 20 + 250) \\
 Diesel\ (mil\ L / ano) &= \frac{1}{1000} \left\{ [(0,982\ EE\ TB) \cdot (355\ tr\_dia)]_{EXPORT} + [(0,982\ EE\ TB) \cdot (355\ tr\_dia)]_{RETORNO} \right\} \\
 Equipes &= 4 \times trem\_malha \\
 Locotrol &= 1,3 (Trem\_dia\_export \times Blocos\_export) \times \left( \frac{ciclo\_loco}{24} \right)
 \end{aligned}$$

- 2,0 milhões US\$ por loco de minério para investimento
  - 600 mil US\$ por loco de minério para desinvestimento (devido ao repasse 1:1 para CG)
  - 50 mil US\$/GDT (Eng. material rodante, com base nas propostas mais recentes da Maxion e Mitsui)
  - 0.9526 R\$/l diesel (preço médio EFC s/ icms, Out/03, conforme relatório diesel-dilo )
  - 20 mil R\$/equipe/ano ( sem encargos e benefícios )
  - 500 US\$/m para novos pátios e extensão de pátios
  - 100 mil US\$ por sistema locotrol (preço final fechado com a GEVISA na aquisição para a FCA em 2003 )
- Paridade de 2.95 R\$/US\$ ( cotação oficial 14/11/03 )

## Função de mérito

$$J = 1800 \left[ (HP - Exist\_loco) + \frac{Exist\_loco}{10} \right] + 50 \left[ (GDT - Exist\_GDT) + \frac{Exist\_GDT}{45} \right] GDT + 0,213 \text{ Pátios} + 0,3229 \text{ Diesel} + 13,56 \text{ Equipes} + 100 \text{ locotrol}$$

A função de mérito, J, totaliza em milhares de US\$ o custo de um ano de operação do trem para os volumes definidos. Definimos que o trem ótimo para o transporte de minério na EFC será aquele que minimize o custo J de todas as necessidades relacionadas.

A função J considera a soma do capital imobilizado em ativos (HP, locotrol, GDT e pátios) e o custeio anual (diesel e equipes) da operação deste transporte, diferenciando entretanto as necessidades de recursos existentes das novas necessidades.

No caso dos ativos em especial, estaremos considerando para as frotas existentes apenas o valor da depreciação linear dos mesmos em 1 ano para ter a mesma base de medida do custeio, para isto, dividimos o custos dos ativos pela vida econômica dos mesmos. Consideramos 10 anos para locos (até o primeiro full overhaul) e 40 anos para vagões GDT. Para a necessidade de HP e GDT que excede a frota existente, o valor integral do ativo é acrescido ao custo anual da operação já que trata-se de um investimento para viabilizar o programa daquele ano em particular.

# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas

**Otimizador do trem de minério da EFC**

TB / HP: 1.475 até 7.146

Locos tracionando: 1 até 6

MTPA Minério: 67.2

MTPA CG: 5.4

☐ Retorno menor ☐ Rebocada ☐ S/novo pátio

Arquivo INI

RUN

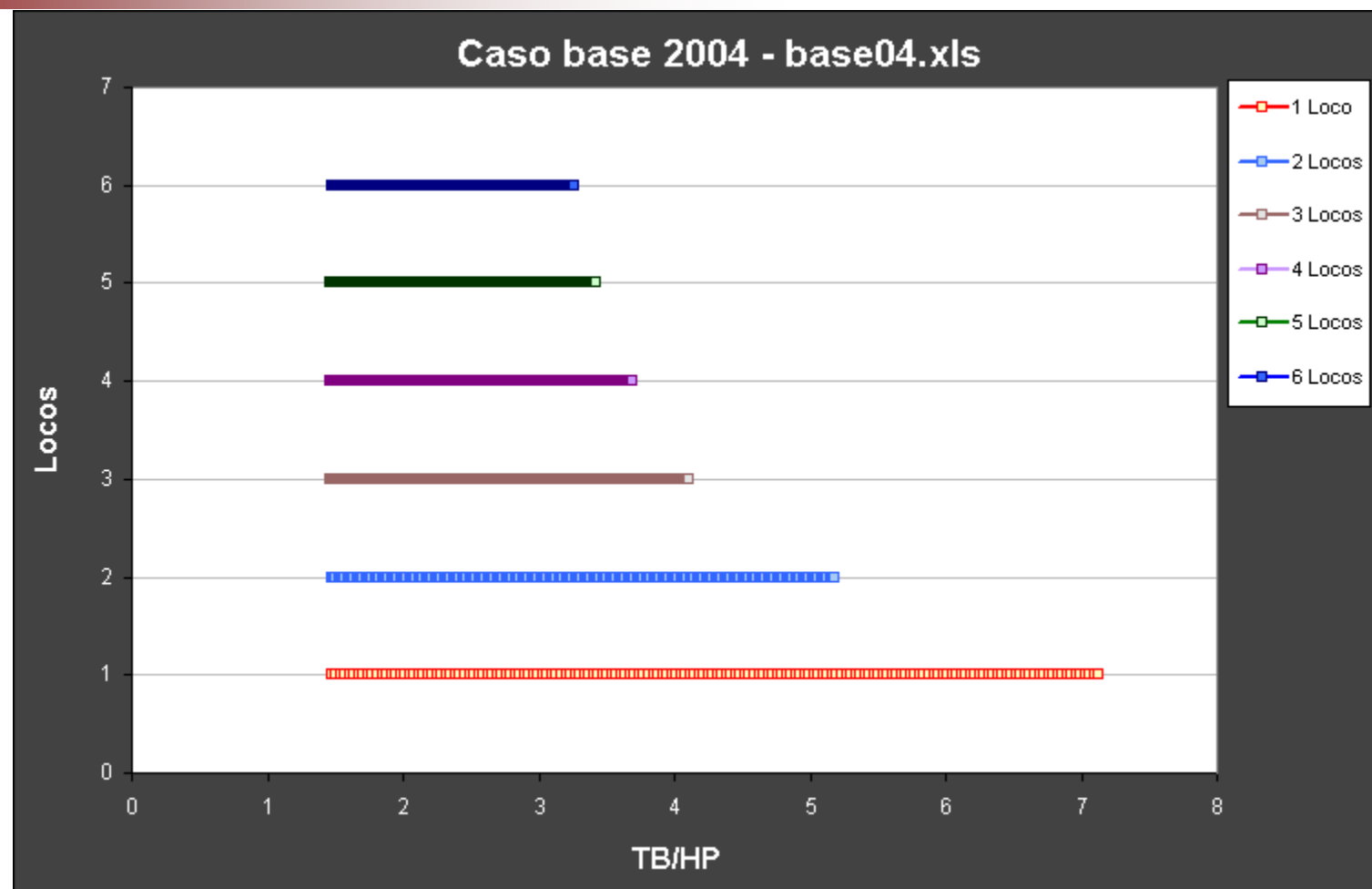
Saída

Sobre

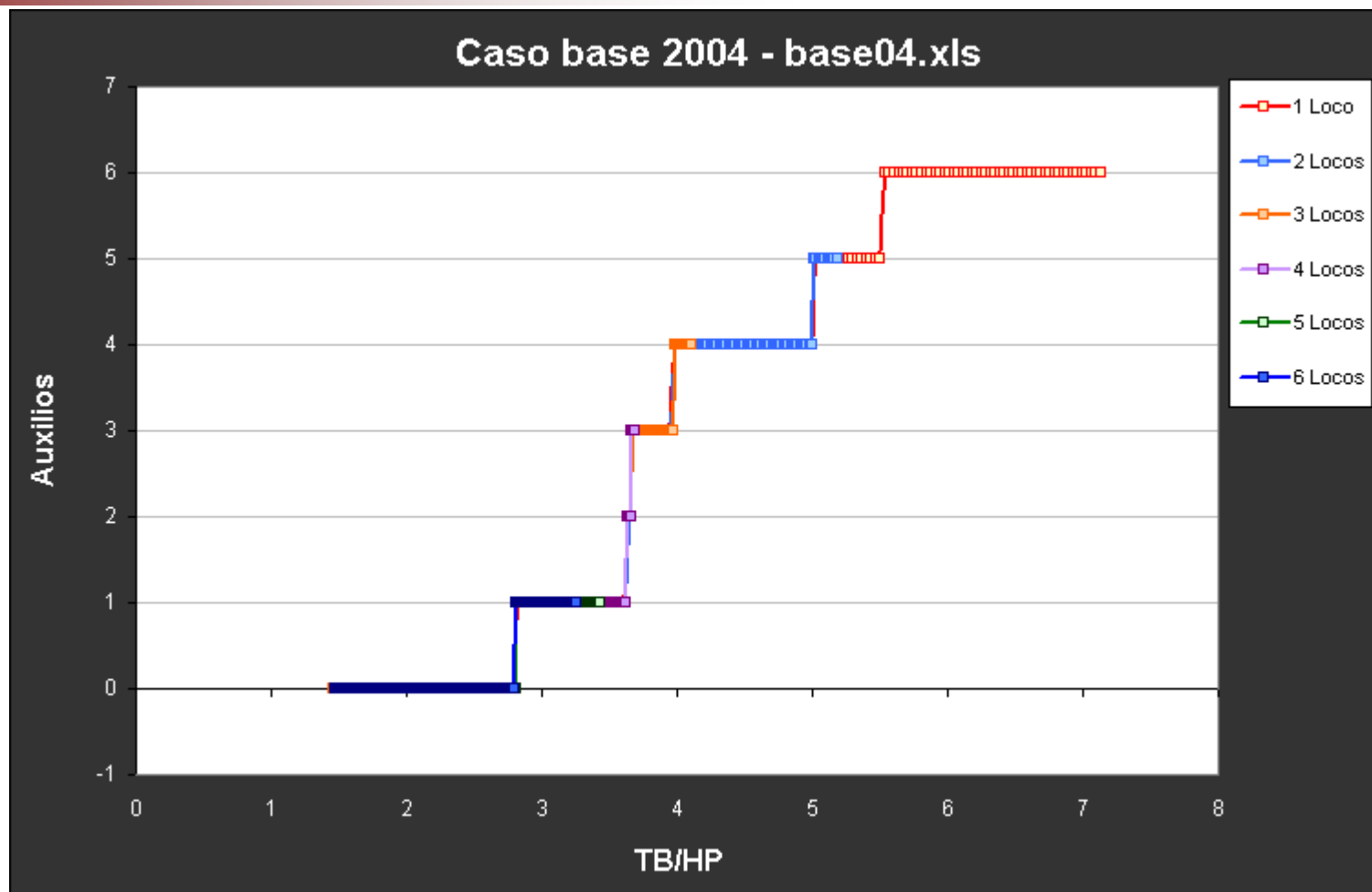
15 melhores resultados:

Custo	Loc	Vg	TB/HP	Locos	GDT	Ext.Pátio	Nov.Pát
49484	1	209	7.133	62	5540	0	15
49521	1	208	7.099	62	5521	0	15
49546	1	207	7.065	62	5502	0	15
49570	1	206	7.031	62	5483	0	15
49667	1	205	6.997	63	5464	0	15
49692	1	204	6.963	63	5445	0	15
49717	1	203	6.929	63	5426	0	15
49742	1	202	6.896	63	5407	0	15
49781	1	201	6.862	63	5388	0	15
49807	1	200	6.828	63	5369	0	15

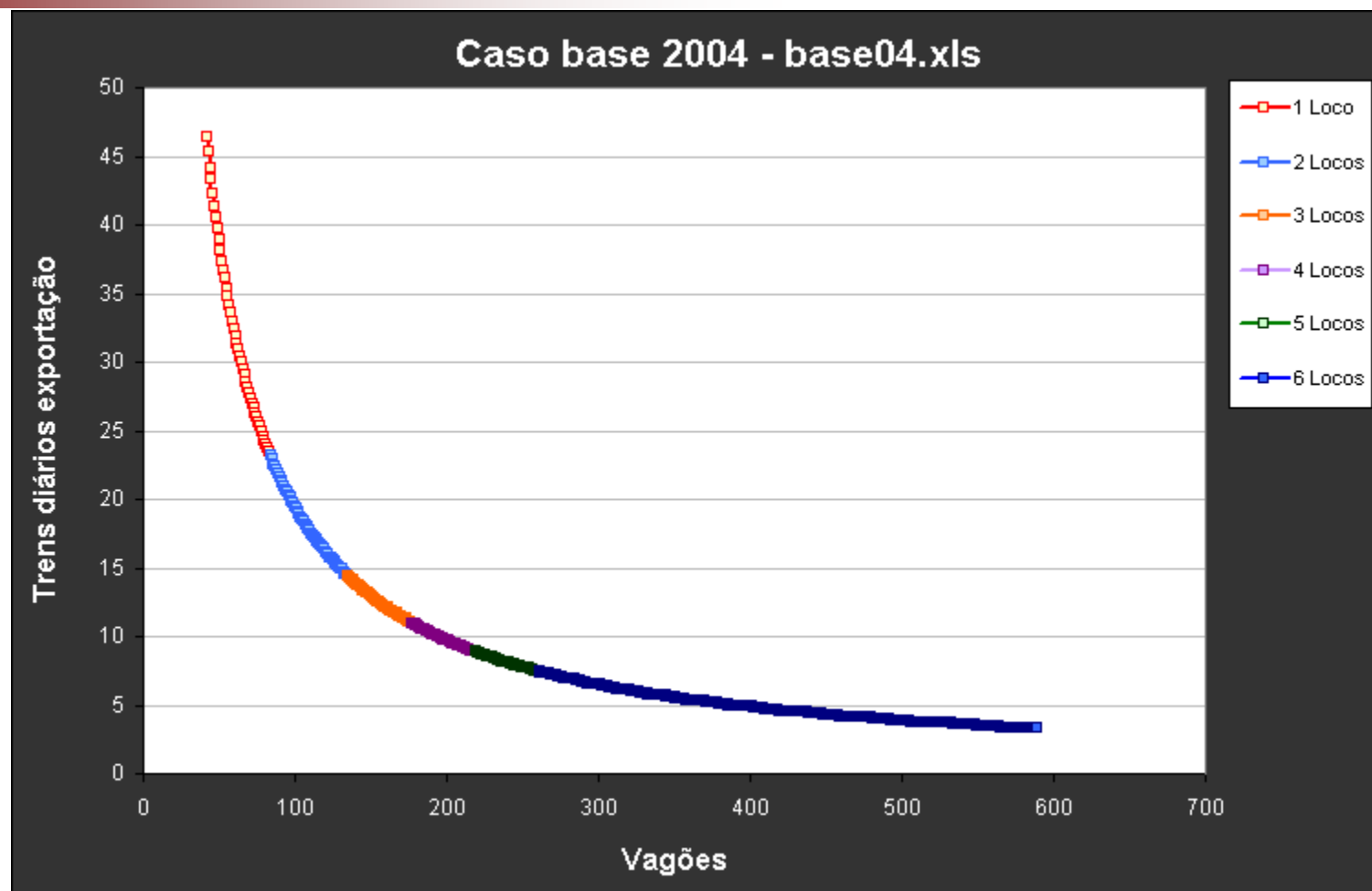
# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



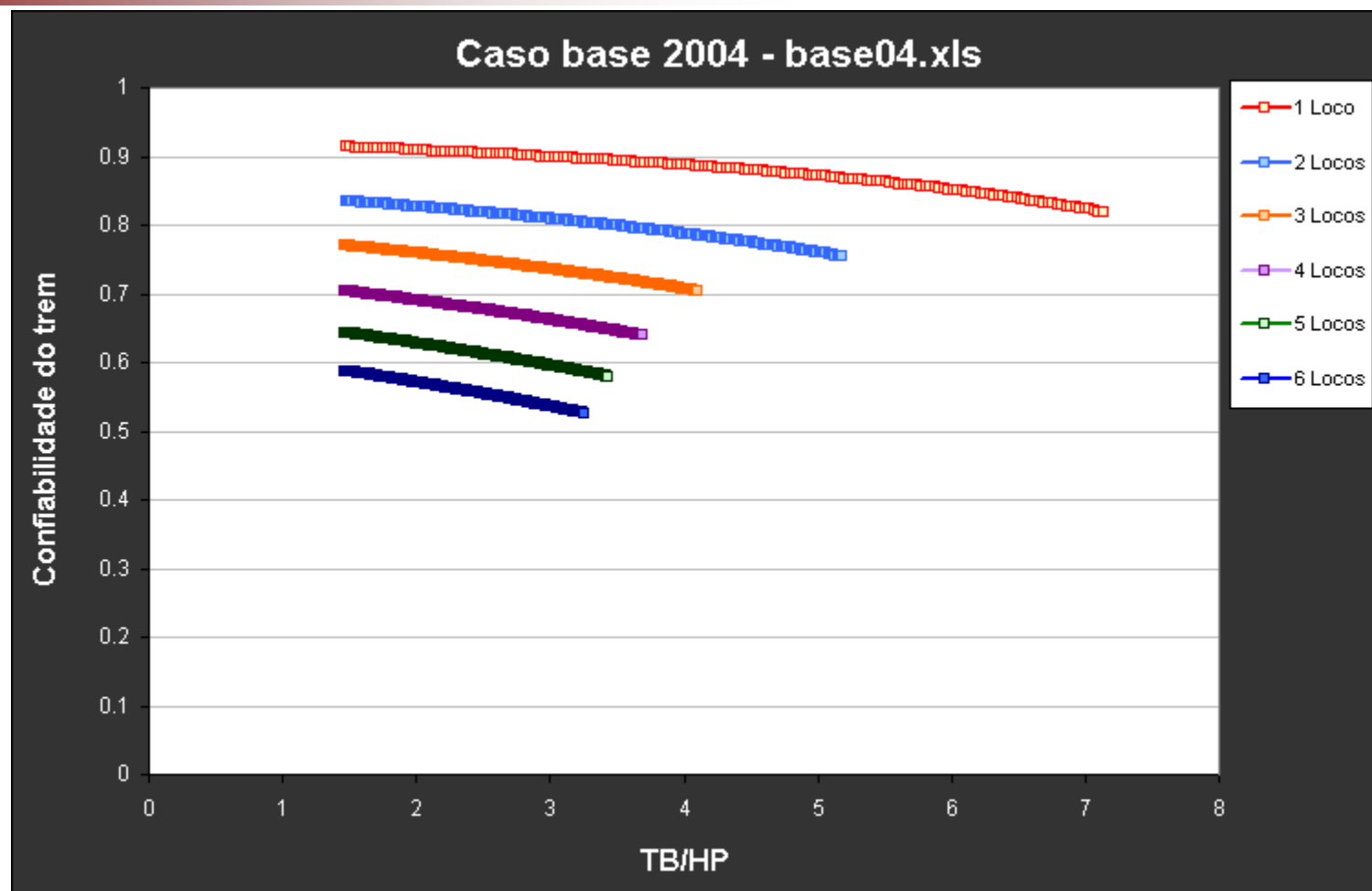
# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas

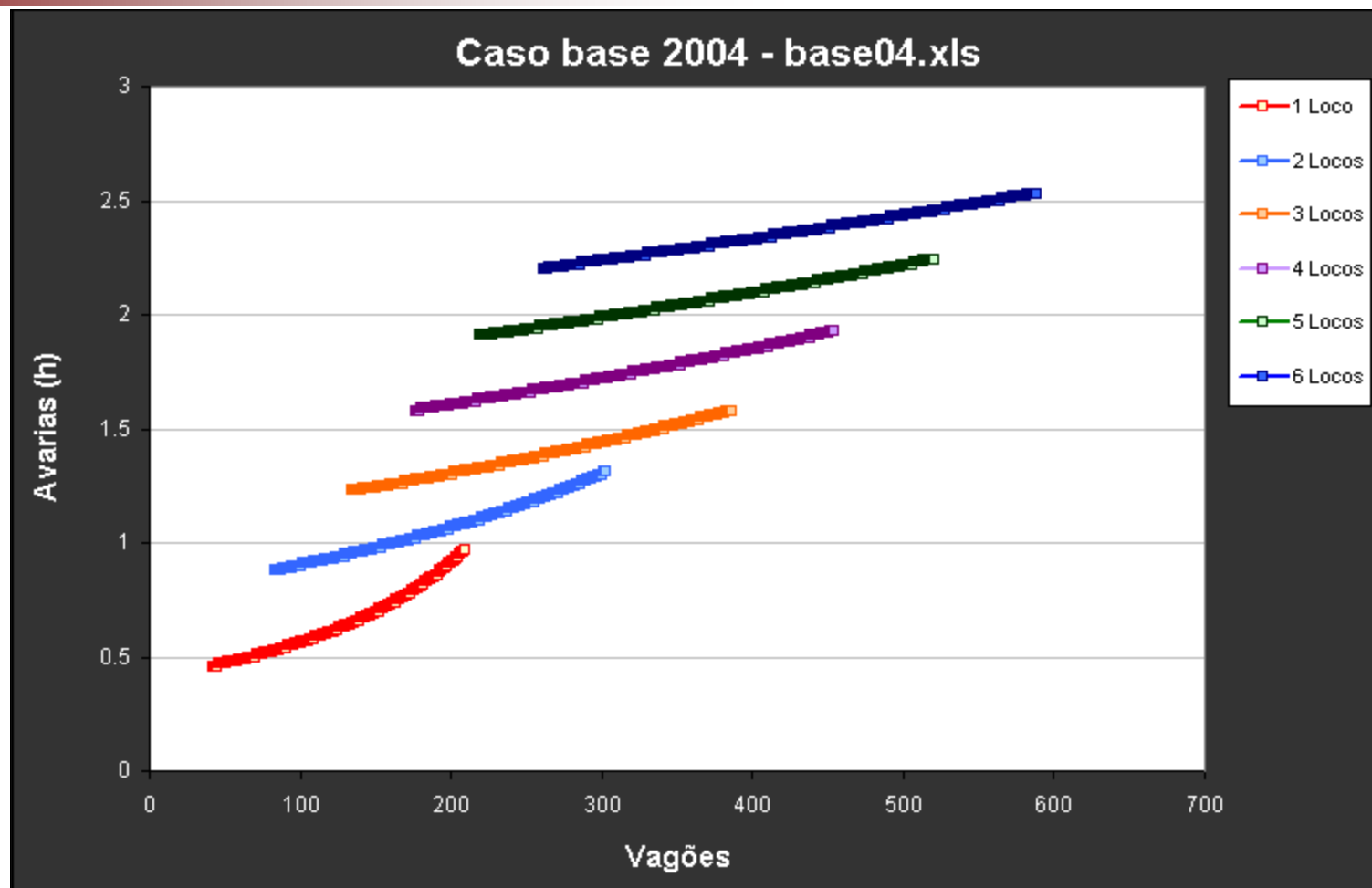


# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas

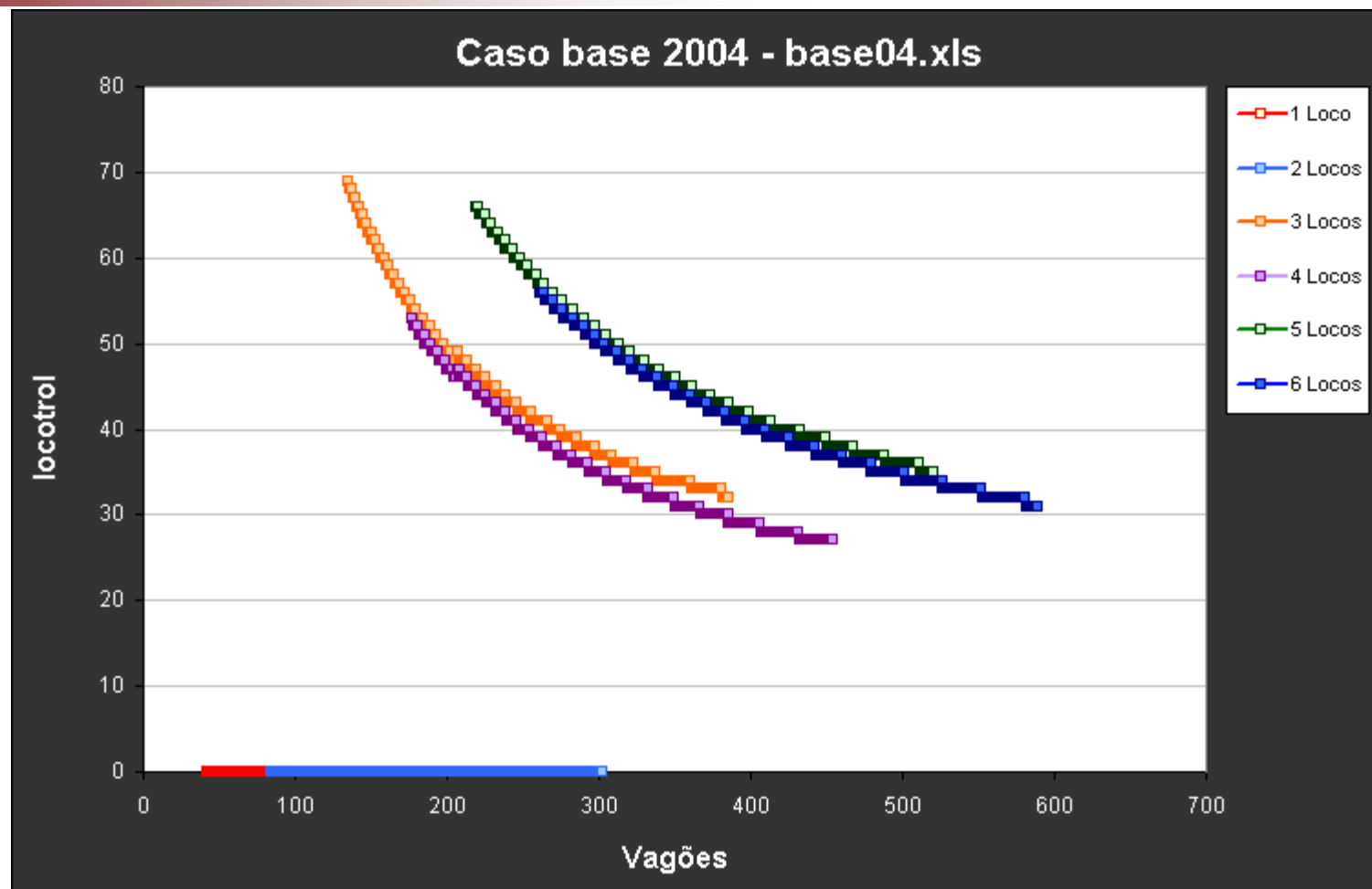




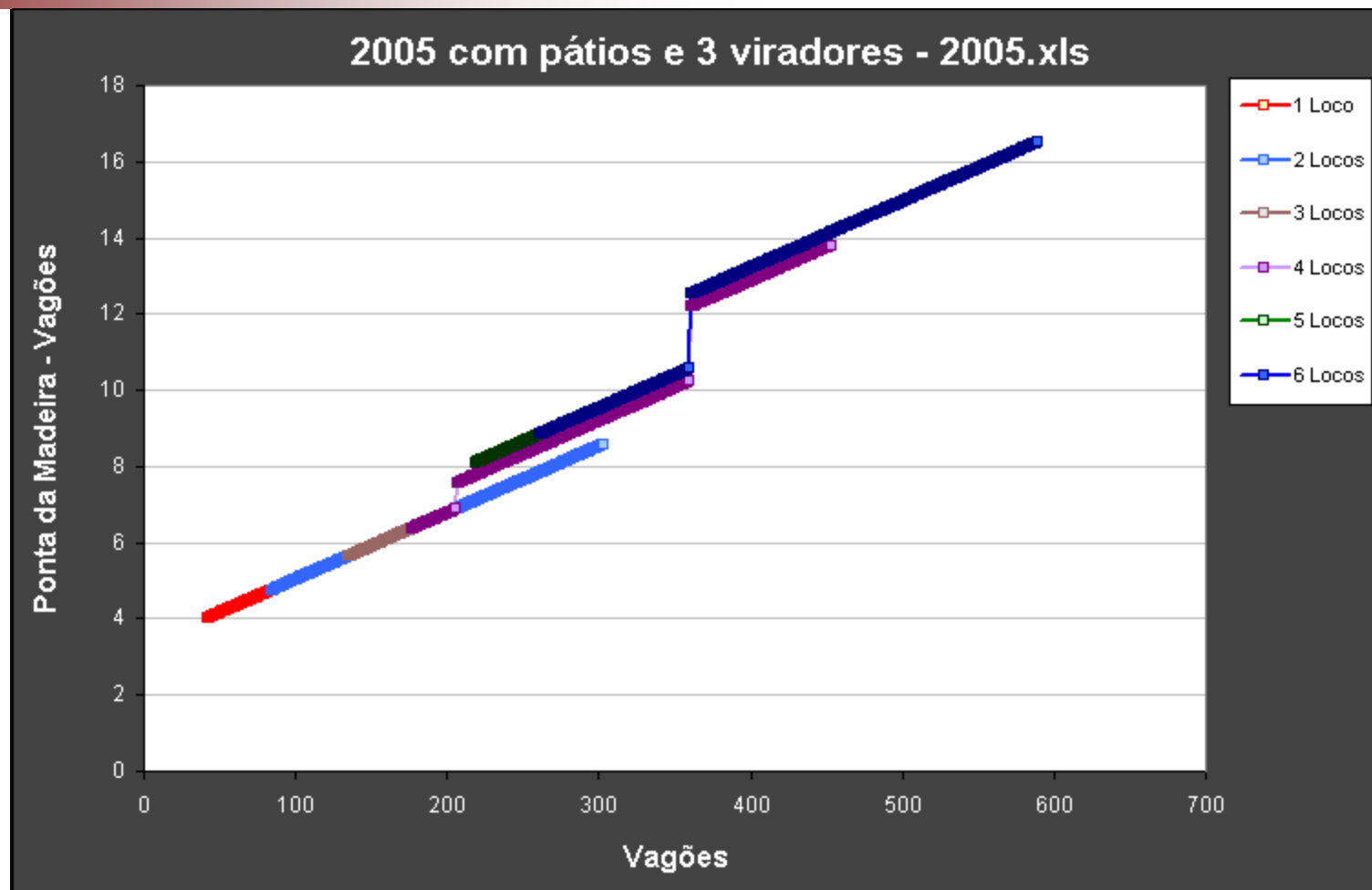
# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



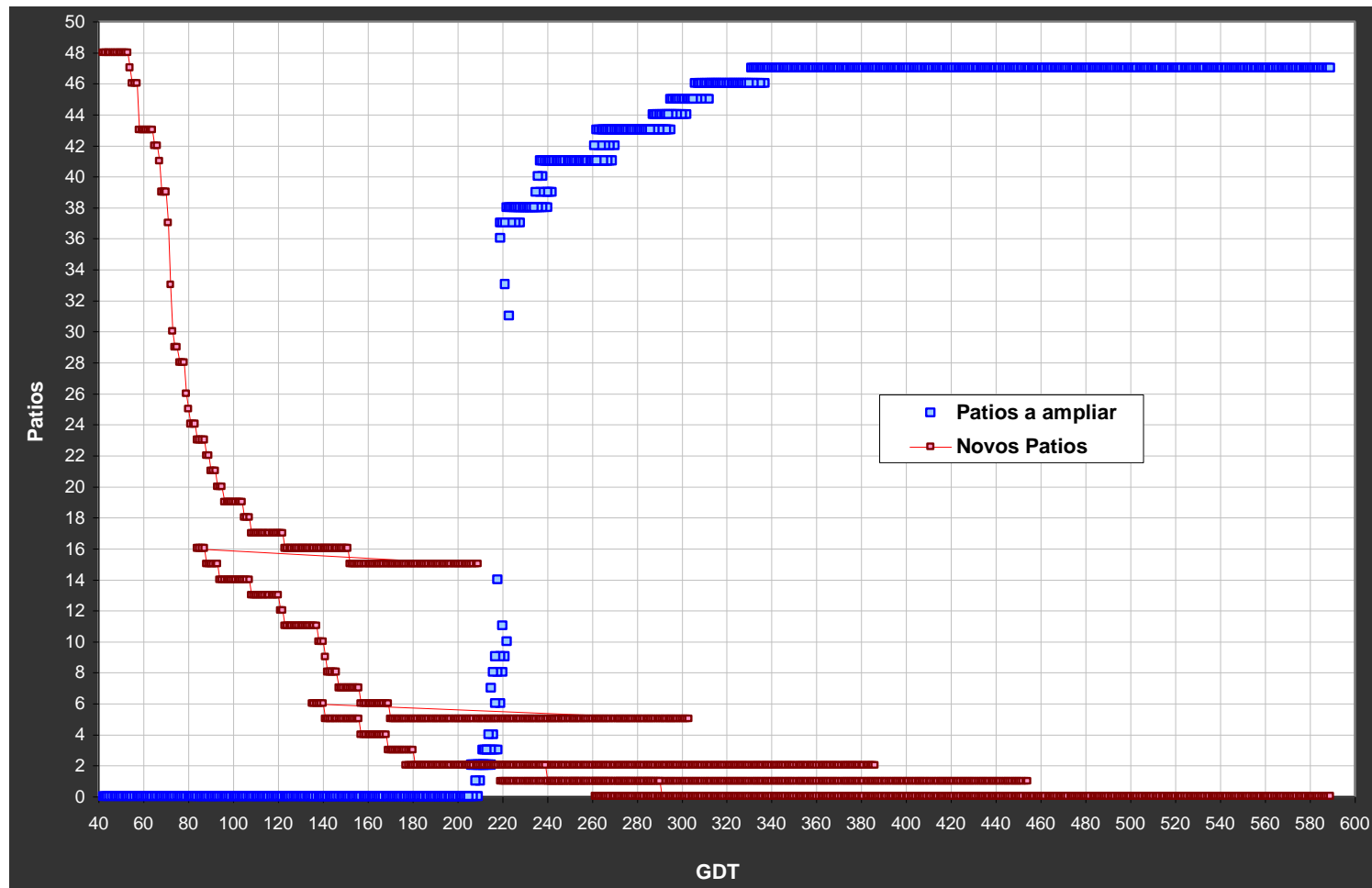
# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas



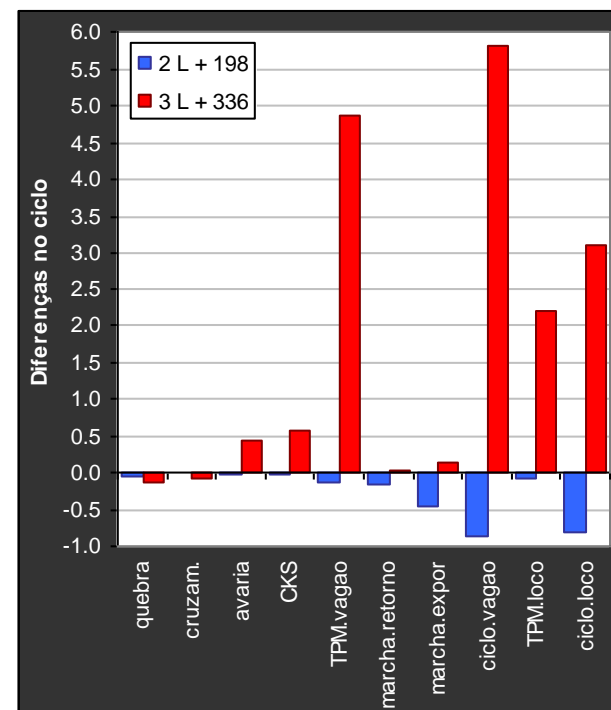
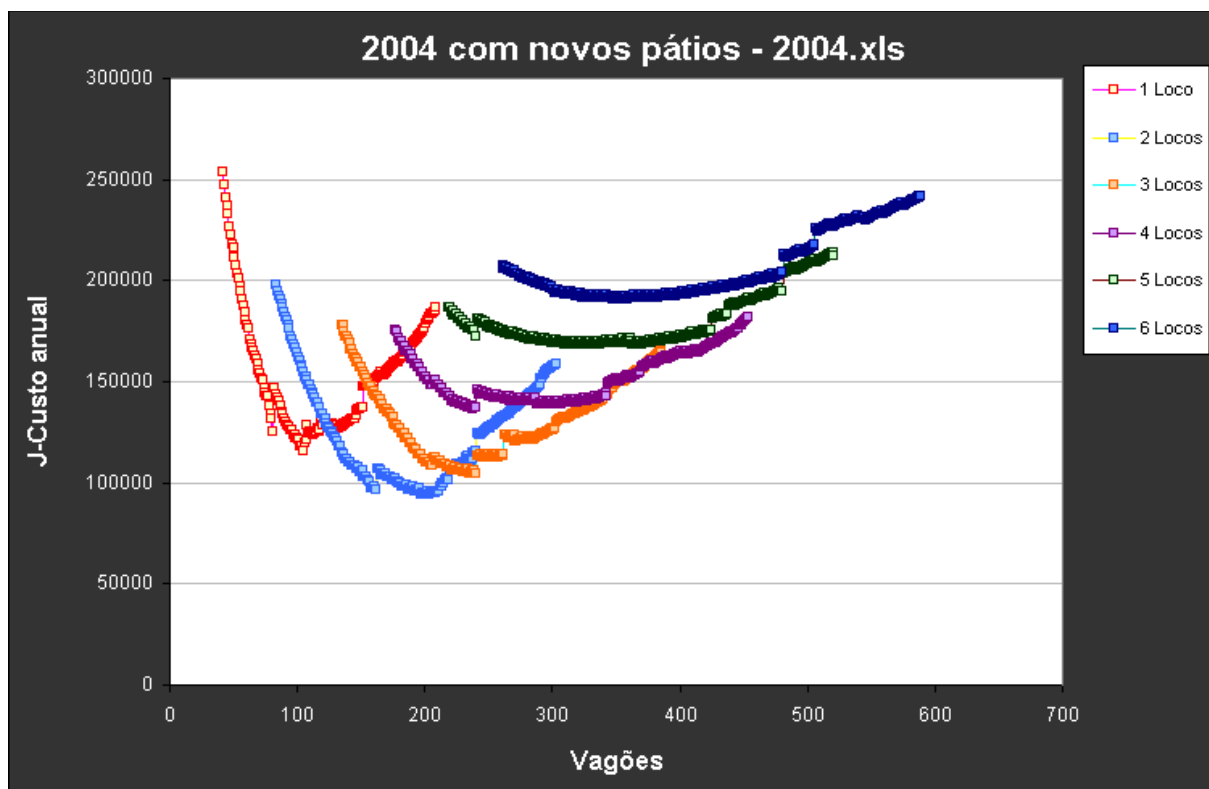
# Aplicativo desenvolvido e saídas genéricas

- O modelo desenvolvido neste trabalho demonstra as peculiaridades da circulação no sistema norte em que os tempos em CKS e TPM, além dos tempos de marcha, são bem mais significativos do que os impactos observados sobre a viagem. Este importante fato não foi considerado no estudo GAVEN-002-2002;
- Em função disto, trens menores são priorizados no algoritmo de otimização já que os mesmos consomem menores tempos em CKS e TPM;
- A aplicação desta diretriz a trens com mais de 3 locos produz razões TB/HP muito baixas o que termina por inviabilizar estas soluções em função da elevação na necessidade de HP;
- Por outro lado, os trens de 1 loco, embora menores, aumentam excessivamente o tráfego em baixas razões TB/HP (único caso em que o impacto de cruzamentos chega a 0,7 h) e para aumentar a TB/HP terminam por demandar um elevado número de helps (chegam a 6) o que eleva novamente a necessidade de HP, inviabilizando as soluções;
- No domínio dos trens de 2 locos, soluções com tamanhos maiores que 240 GDT são inviabilizadas em função de existirem apenas 2 viradores de vagão em TPM e da capacidade associada aos mesmos. A existência de lotes aguardando a descarga enquanto ambos os viradores estão ocupados cria um degrau no ciclo de vagões TPM, representando uma forte barreira no sistema para qualquer cenário de aumento do trem;
- A aplicação da opção com retorno menor não produziu alteração nos melhores resultados já que nenhuma destas soluções envolvia expansões de pátio (único ganho associado ao trem menor) e por outro lado acrescia-se o tempo de reformação do trem em Parauapebas.
- A aplicação de locos redundantes exige volumes de transporte superiores aos estudados para que se tornem viáveis;

# Aplicativo desenvolvido e soluções obtidas

## 2004, 70.5 MTPA minério e 5.9 MTPA CG:

Trem convencional **2L+197 GDT** com redução estimada de 0,92 h no ciclo com relação ao 206 GDT.



# Aplicativo desenvolvido e soluções obtidas

J	loc/trem	vg	tb/hp	locos.total.trem	GDT	Ext.patio	Novo patio	mil L	equipes
94076	2	197	3.388	59	4465	0	5	143208	85
96089	2	192	3.303	60	4425	0	6	145672	87
96305	2	162	2.795	62	4189	0	8	162706	97
97483	2	158	2.727	63	4156	0	8	165187	99
100488	2	157	2.710	64	4148	0	9	165810	100
101345	2	155	2.676	64	4133	0	10	167058	101
102812	2	152	2.626	65	4110	0	10	168927	102
105530	2	149	2.575	66	4088	0	11	170788	104
107038	2	146	2.524	67	4066	0	11	172631	105
108601	2	143	2.473	68	4045	0	11	174445	107
110151	2	140	2.422	69	4024	0	11	176220	109
111838	2	138	2.388	70	4010	0	11	177376	110
113567	2	136	2.354	71	3997	0	11	178506	111
114600	2	135	2.337	71	3990	0	12	179061	112
115652	1	105	3.608	60	4516	0	20	137337	164

A confiabilidade é de 80%. A necessidade de locos aumenta em 2 (pois temos 0,5 trens a mais na malha) mas a necessidade de GDTs reduz-se em 76. A necessidade de pátios é a mesma, a saber 5 (L32, L35, L37, L40 e um novo pátio entre L47-L48). Uma alternativa seria conduzir um estudo específico para aplicação do help com 1 Dash para o trem 197, já que este trem apresenta uma redução de 5% na TB/HP. Com isto sobriam 2 dash para tração.

Sob as mesmas premissas, o trem 3L+336 não é recomendado pois exhibe potencial para aumento de 4h na permanência em TPM além de elevar em 0,5h o impacto de avarias.

# Aplicativo desenvolvido e soluções obtidas

## **2005: 80 MTPA minério e 6,5 MTPA CG, 3 dumpers**

O trem ótimo é de 2L+208 GDT com necessidade de 7 novos pátios. Ou seja, com novos pátios, não existe necessidade do 3o virador. No cenário sem novos pátios, o trem que minimiza os custos é o **3L+260 GDT** (locotrol bi-bloco de 3 locos, ou seja, menor TB/HP) já usando a disponibilidade do 3o virador mas ainda bem abaixo da capacidade máxima deste que seria de 360 GDT em descarga simultânea. Uma alternativa seria o aumento em 8% na capacidade atual dos viradores existentes.

## **Cenário 95 MTPA minério e 15 MTPA CG, 3 dumpers**

O trem ótimo é o **2L+220 GDT** com 19 novos pátios. No cenário sem novos pátios, o trem que otimiza o sistema é o locotrol bi-bloco **4L+334 GDT**, utilizando de forma mais adequada a capacidade do 3o virador (360 GDT em descarga simultânea c/ 3 viradores). Temos então a necessidade de extensão média de 1.150 m sobre 46 pátios existentes para este cenário.



