

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES

CADERNO DE ESTUDOS OPERACIONAIS E DE CAPACIDADE

FERROVIA DE INTEGRAÇÃO OESTE-LESTE: TRECHO CAETITÉ/BA – ILHÉUS/BA



PÓS ACÓRDÃO TCU

BRASÍLIA, DEZEMBRO DE 2020

SUMÁRIO

1.	Introdução	5
2.	Objetivos.....	5
3.	Estudo Operacional.....	6
3.1	Demanda por macro trecho	6
3.2	Informações Técnicas	7
3.2.1	Material Rodante	7
3.2.2	Plano de vias.....	8
3.2.3	Sazonalidade.....	10
3.3	Definição dos trens-tipo.....	10
3.3.1	Conceito.....	10
3.3.2	RTC	11
3.3.3	Escolha do Trem-Tipo	11
3.4	Conversão da demanda anual em pares diários de trem (PDT).....	13
3.5	Tempos entre pátios	14
3.6	Cálculo da capacidade e da saturação dos segmentos	14
3.6.1	Capacidade Instalada	14
3.6.2	Saturação	16
3.6.3	Resultado do cálculo da capacidade instalada e da saturação da via.....	17
3.7	Otimização do plano de vias	19
3.8	Dimensionamento de frota.....	22
3.8.1	Aquisição de frota para atendimento à demanda.....	23
3.8.2	Reposição de ativos	31
3.8.3	Resultados.....	33
4.	Lista de Anexos	39

TABELAS

Tabela 1: Definição de macro trechos	7
Tabela 2: Informações técnicas (vagões).....	8
Tabela 3: Informações técnicas (locomotivas)	8
Tabela 4: Resumo do plano de vias	9
Tabela 5: Sazonalidades	10
Tabela 6: Características básicas do trem-tipo definido	12
Tabela 7: Resumo da projeção da demanda em PDT	14
Tabela 8: Resumo dos tempos de percurso – Cenário Base	17
Tabela 9: Resumo da capacidade e da saturação dos segmentos entre pátios – Cenário Base	18
Tabela 10: Seleção de pátios – Cenário “Faseamento 1”	19
Tabela 11: Resumo da capacidade e da saturação dos segmentos entre pátios – Cenário “Faseamento 1”	20
Tabela 12: Resumo dos pátios a serem implantados	21
Tabela 13: Tempos médios de carga e descarga (horas)	25
Tabela 14: Indisponibilidade de locomotivas e de vagões apresentada nos documentos pós Audiência Pública nº 007/2017 – Ferrovia Norte-Sul	27
Tabela 15: Quantitativo de locomotivas AC44 a serem disponibilizadas pela Subconcessionária	33
Tabela 16: Quantitativo de vagões GDT (trem-tipo Minério) a serem disponibilizados pela Subconcessionária	34
Tabela 17: Quantitativo de vagões HFT (trem-tipo Graneleiro) a serem disponibilizados pela Subconcessionária	34
Tabela 18: Quantitativo de vagões PET (trem-tipo Plataforma) a serem disponibilizados pela Subconcessionária	35
Tabela 19: Quantitativo de vagões TCT (trem-tipo Tanque) a serem disponibilizados pela Subconcessionária	36
Tabela 20: Resumo do material rodante a ser disponibilizado pela Subconcessionária	37

FIGURAS

Figura 1: Trecho ferroviário entre Caetité/BA e Ilhéus/BA	5
Figura 2: Demanda da FIOL.....	24

1. Introdução

Este Caderno de Estudos Operacionais e de Capacidade (“Caderno Operacional”) foi elaborado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), após Audiência Pública, de forma a subsidiar o processo de Subconcessão da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), trecho ferroviário situado entre os municípios de Caetité/BA e Ilhéus/BA, com aproximadamente 537 km de extensão. Neste Caderno, o trecho em estudo também pode estar referenciado como “FIOL 1”, uma vez que há outros trechos da ferrovia não contemplados neste processo de Subconcessão.

O presente Caderno foi elaborado com base nos resultados apresentados no Caderno de Demanda da FIOL e em informações prestadas pela empresa pública VALEC – Engenharia, Construções e Ferrovias S.A., Concessionária desta malha ferroviária.

A Figura 1 ilustra o trecho ferroviário objeto da Subconcessão em tela.

Figura 1: Trecho ferroviário entre Caetité/BA e Ilhéus/BA



Fonte: VALEC (valec.gov.br)

2. Objetivos

Este Caderno tem como objetivo apresentar a metodologia, as premissas e os resultados referentes aos Estudos Operacionais e de Capacidade da FIOL 1, entre Caetité/BA e Ilhéus/BA, realizados após a Audiência Pública nº 010/2018. Além disso, objetiva-se apresentar a descrição da metodologia e os cálculos empregados na determinação da frota de locomotivas e vagões necessários ao transporte das cargas projetadas para o período em estudo.

3. Estudo Operacional

Os cálculos de capacidade têm por objetivo identificar os investimentos necessários para eliminação dos gargalos operacionais e para melhoria na segurança ferroviária durante a Subconcessão.

Já o dimensionamento de frota tem por objetivo quantificar as locomotivas e os vagões necessários ao longo do período de Subconcessão para atendimento à demanda projetada.

Dessa forma, o Estudo foi estruturado nos seguintes tópicos:

- Demanda por macro trecho
- Informações Técnicas
- Definição dos trens-tipo;
- Conversão da demanda anual em pares diários de trem (PDT);
- Tempos entre pátios;
- Cálculo da capacidade e da saturação dos segmentos;
- Otimização do plano de vias;
- Dimensionamento de frota.

3.1 Demanda por macro trecho

O principal produto do Caderno de Demanda para o Caderno Operacional é a Matriz Origem-Destino com todos os 63 fluxos de carga cujo transporte é previsto na FIOl 1, detalhados em: tipos de produto, origem, destino, ponto de entrada, ponto de saída e a projeção de volume ao longo dos 30 anos de operação da Subconcessão.

Para utilização dessa matriz no Estudo Operacional, é necessária uma conversão, totalizando os volumes de carga que são transportados em cada segmento entre pátios para posterior conversão em par de trem e verificação com a capacidade instalada.

O traçado da FIOl 1, para fins deste estudo, foi segregado em intervalos chamados de macro trechos, separados pelos pontos da ferrovia onde há entrada/saída de carga, sejam eles terminais multimodais ou pontos de conexão com outras ferrovias. Desta forma, pode-se presumir que todos os entre pátios contidos em um macro trecho terão os mesmos volumes totais transportados. Os macro trechos da FIOl entre Caetité e Ilhéus estão apresentados no Anexo I e detalhados na Tabela 1.

Tabela 1: Definição de macro trechos

Código	Pátio A	Pátio B
P26-P36	Caetité (P26)	Brumado (P36)
P36-P60	Brumado (P36)	Ilhéus (P60)

Fonte: ANTT (2019)

O Anexo I também apresenta a associação de cada fluxo de demanda contido na Matriz Origem-Destino ao macro trecho pelo qual percorre, bem como a classificação em fluxo de retorno ou não. Os fluxos de retorno se caracterizam pelo aproveitamento do mesmo material rodante no sentido inverso a outro fluxo de maior representatividade, não resultando em impacto no cálculo de pares de trem, uma vez que o fluxo com maior volume já contempla todo o ciclo do trem.

Após eliminação dos considerados fluxos de retorno, os volumes anuais projetados de cada produto ao longo do período de Subconcessão, alocados em cada um dos macro trechos detalhados anteriormente, são apresentados na planilha “Demanda” do Anexo I e serão utilizados no restante deste Estudo Operacional.

3.2 Informações Técnicas

O Anexo II foi elaborado para conter todas as informações técnicas que são relevantes a mais de uma etapa deste Estudo Operacional, garantindo uma referência única e centralizada para as demais planilhas, com informações relevantes do material rodante escolhido, do plano de vias e da sazonalidade considerada para cada um dos produtos.

3.2.1 Material Rodante

Os tipos de vagão considerados na simulação foram os usualmente utilizados para cada produto. Para as locomotivas, foi utilizado o modelo AC44 ou similar, pelo fato de que a tração AC possui melhor performance por apresentar controle de aderência.

Dentre os benefícios da utilização da locomotiva AC, destacam-se:

- Melhor resposta ao controle de velocidade e torque;
- Controle de aderência, reduzindo ocorrência de “patinação” na arrancada e, principalmente, um melhor controle na frenagem, evitando “deslizamento” em paradas de emergência e via molhada;
- Frenagem mais confiável, devido ao uso de inversor de frequência aplicado aos motores AC, que permite uma frenagem dinâmica robusta ao longo de todo o

percurso, aplicado em função do melhor desempenho do sistema nas perdas térmicas.

Definido o material rodante utilizado no estudo, foram apuradas suas informações técnicas junto ao Sistema de Acompanhamento e Fiscalização do Transporte Ferroviário (SAFF), conforme Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2: Informações técnicas (vagões)

Modelo	Comprimento (m)	Peso Total (t)	Capacidade Útil (t)	Tara (t)
HFT	17,4	120,0	90,0	30,0
GDT	10,5	130,0	111,0	19,0
PET	19,0	130,0	98,0	32,0
GFS	15,8	100,0	77,0	23,0
TCT	19,1	130,0	92,5	37,5

Fonte: SAFF (2019)

Tabela 3: Informações técnicas (locomotivas)

Modelo	Regime Mínimo Contínuo (km/h)	Comp. (m)	Potência Bruta (HP)	Peso total (t)
AC44	15,90	22	4.400	180,00

Fonte: SAFF (2019)

3.2.2 Plano de vias

O posicionamento de desvios e terminais ao longo da ferrovia foi enviado pela VALEC por meio da Carta nº 114/2019/GESCO/SUTES, contendo o plano de vias com as distâncias e pátios em suas referências quilométricas originais, acompanhado de todas as alterações que foram necessárias ao longo da evolução do projeto, realizando uma igualdade de estacas nos pontos onde foram notadas divergências de extensão em respeito ao estaqueamento original da obra.

Uma vez que foram obtidos todos os dados referentes a posições quilométrica dos pátios junto aos seus valores de ajuste, foi gerada uma nova referência quilométrica sequencial para permitir a utilização da malha nos modelos de cálculo indicados neste estudo, de forma a representar a configuração final da ferrovia ao serem completadas todas as suas obras. O resumo do plano de vias, contendo as diferenças entre os dados originais e os dados utilizados neste estudo estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resumo do plano de vias

Dados VALEC					Dados ANTT	
Desvio/Pátio	Município	km Início	km Fim	Ext. Útil (m)	km Início	km Fim
Polo de Caetité (P26)	Caetité	969+628	972+256	2452	969+628	972+256
(P27)	Ibiassucê	988+725	991+086	2185	988+725	991+086
(P28)	Ibiassucê	1009+360	1011+535	1999	1009+360	1011+535
(P29)	Rio Antônio/Lagoa Real	1029+054	1031+255	2025	1029+054	1031+255
(P30)	Livramento de N Senhora	1050+964	1053+140	2000	1050+964	1053+140
(P31)	Brumado	1070+890	1073+065	1999	1070+890	1073+065
(P32)	Brumado	1086+980	1089+549	2393	1086+980	1089+549
(P33)	Brumado	1106+880	1109+055	1999	1106+880	1109+055
(P34)	Brumado	1124+115	1126+291	2000	1124+115	1126+291
(P35)	Tanhaçu	1141+110	1143+550	2264	1141+110	1143+500
Brumado (P36)	Tanhaçu	1147+110	1149+360	2074	1155+110	1157+360
(P37)	Tanhaçu	1161+620	1163+800	2004	1169+409	1171+604
(P38)	Mirante	1172+360	1174+740	2204	1180+150	1182+526
(P39)	Tanhaçu/Mirante	1186+660	1188+820	1984	1194+628	1196+788
(P40)	Manoel Vitorino	1200+660	1202+720	1884	1208+617	1210+677
(P41)	Manoel Vitorino	1212+920	1215+100	2004	1220+920	1223+100
(P42)	Manoel Vitorino	1228+800	1230+900	1924	1236+800	1238+900
(P43)	Manoel Vitorino	1243+200	1245+300	1924	1251+311	1253+411
(P44)	Jequié	1259+625	1261+805	2008	1267+720	1269+900
(P45)	Jequié	1275+142	1277+357	2043	1283+237	1285+452
(P46)	Jequié	1288+500	1290+880	2208	1296+595	1298+975
(P47)	Jequié	1304+730	1306+940	2038	1312+825	1315+035
(P48)	Jequié	1320+000	1322+200	2028	1326+319	1328+519
(P49)	Jequié/Itagi	1335+478	1337+657	2007	1341+841	1344+020
(P50)	Aiquara	1352+262	1354+450	2016	1358+625	1360+813
(P51)	Aiquara	1370+300	1372+500	2019	1376+672	1378+872
(P52)	Itagibá	1384+851	1387+400	3302	1392+701	1395+250
(P53)	Gongongi	1399+151	1401+350	2027	1407+001	1409+200
(P54)	Ubaitaba	1413+701	1415+900	2027	1421+557	1423+756
(P55)	Aurelino Leal	1427+801	1430+000	2027	1435+566	1437+765
(P56)	Aurelino Leal	1440+801	1443+000	2025	1448+579	1450+778
(P57)	Uruçuca	1457+001	1459+200	2027	1464+767	1466+966
(P58)	Ilhéus	1471+601	1474+070	2297	1478+557	1481+026
(P59)	Ilhéus	1479+181	1481+380	2027	1486+137	1488+336
Terminal de Ilhéus (P60)	Ilhéus	1490+353	1492+818	2096	1497+357	1499+822

Fonte: ANTT (2019)

Ressalta-se que o plano de vias acima apresenta todos os pátios previstos em projeto pela VALEC, sendo que alguns destes pátios já estão implantados e os demais são definidos como obras a serem executadas pela Subconcessionária.

3.2.3 Sazonalidade

Buscando simular o cenário mais crítico e respeitar os produtos cuja distribuição ao longo do ano não é homogênea, foi definido um índice de sazonalidade, resultante da divisão entre 365 dias no ano pelo número de dias operacionais da carga, ou seja, o período do ano em que existe o transporte desse produto. Os valores de Sazonalidade utilizados nesse estudo estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Sazonalidades

Carga	Sazonalidade	Dias operacionais/ano
Alimentos Processados	1,00	365
Cimento	1,00	365
Combustíveis	1,00	365
Farelo de Soja	1,21	302
Manufaturados	1,00	365
Minério de Ferro	1,00	365
Outros Minerais	1,00	365
Petroquímicos	1,00	365
Produtos não metálicos	1,00	365
Soja em Grão	1,21	302

Fonte: ANTT (2019)

3.3 Definição dos trens-tipo

3.3.1 Conceito

O trem-tipo refere-se ao conjunto referencial de locomotivas e vagões que circulam pela rede e transportam as cargas entre os terminais, definido para cada tipo de carga. A característica da composição é de acordo com o tipo de locomotiva utilizada, a localização das locomotivas no trem, os tipos de vagões e suas configurações de carregamento, além de demais características relacionadas ao material rodante.

A definição do trem-tipo consiste na obtenção do trem mais eficiente possível dentro das limitações físicas da via, o que terá como consequência a diminuição da quantidade de trens e cruzamentos, bem como a melhora da velocidade comercial. Seu comprimento é a soma do comprimento dos vagões e locomotivas, limitado pelo comprimento dos pátios, capacidade de carga nos engates, força tratora das locomotivas e a capacidade de os trens reiniciarem o seu movimento em aative.

3.3.2 RTC

Em ferrovias em fase de construção é comum a obtenção de informações de desempenho de trens por meio de simulação computacional, utilizando *softwares* específicos para este fim. Na FIOl, foi utilizado o *Rail Traffic Controller* (RTC), que, baseado em dados previamente cadastrados como planialtimetria, altimetria, tipos de AMV e velocidade máxima do trecho, traça a rota do trem e apresenta, entre outros aspectos, os esforços aplicados nos trens, o consumo de combustível, o tempo de percurso e o seu comportamento no traçado ferroviário.

Os dados de entrada que alimentam o RTC foram fornecidos pela VALEC (atualizados com o avanço das obras), tais como, dados planialtimétricos com todas as características geométricas horizontais e verticais da ferrovia, posição dos pátios de cruzamento ao longo do traçado e o modo operacional do transporte dos diferentes tipos de carga (sentidos de origem e destino). De posse destes dados, realizou-se o cadastro da malha e foram definidas as rotas dos trens para todas situações operacionais identificadas.

3.3.3 Escolha do Trem-Tipo

Com o RTC, foi possível obter informações de diferentes configurações de trem-tipo, com as quais se construiu uma base de dados, em que os trens utilizados passam por um processo de validação, dividido em quatro etapas:

- i) Esforço trator e extensão: aferição da capacidade de tração das composições, com o esforço trator necessário para se vencer as rampas ao longo do percurso. Além disto, verifica-se a necessidade de limitação da composição pela extensão do pátio com o menor comprimento útil;
- ii) Velocidade mínima contínua: nesta etapa, são eliminados os trens-tipo cuja velocidade simulada apresentou-se abaixo da velocidade mínima em regime

contínuo em algum momento do percurso. Para validação dos trens-tipo, considerou-se o limite em 15,9 km/h, em aderência com as velocidades adotadas em outras concessionárias e obtidas de fabricantes de locomotivas (Tabela 3);

- iii) Saturação: consiste em limitar a quantidade mínima de vagões, caso haja necessidade dentre os trem-tipo analisados, que resulte em valores dentro do limite aceitável de saturação, projetando-a de maneira aproximada nos entre pátios críticos e nos anos picos de demanda de cada macro trecho; e
- iv) Econômico-financeiro: realiza-se uma análise financeira para cada combinação validada de trem-tipo nos anos de Subconcessão, buscando uma minimização dos custos, baseando-se na necessidade de aquisição de frota, bem como o consumo projetado de combustível, *sustaining* e outros custos operacionais.

Para cálculo dos tempos de percurso dos trens foram realizadas simulações considerando tráfego sem paradas ao longo da ferrovia e tráfego com parada em todos os pátios de cruzamento, para os trens no sentido exportação e importação. Com os resultados das simulações, foi adotada uma ponderação das condições de tráfego em função do sentido do percurso. No sentido exportação, considerou-se o peso de 80% no tempo de percurso obtido na simulação sem paradas, enquanto o tempo obtido na simulação com paradas corresponde a 20%. No sentido importação, os valores foram o inverso, sendo alocado o peso de 20% do tempo simulado sem paradas e 80% do tempo simulado com paradas.

Desta forma, a premissa adotada no cálculo dos tempos de percurso prioriza a passagem da composição carregada no sentido exportação, uma vez que o transporte de cargas em direção ao porto é mais representativo do que a demanda no sentido inverso.

Após serem ponderados os pontos descritos acima e analisada a necessidade de novos trens-tipo para atendimento às cargas previstas no caderno de demanda, foram definidas as composições apresentadas em resumo na Tabela 6.

Tabela 6: Características básicas do trem-tipo definido

Trem-tipo	Produtos	Vagão	Qtd. Locos	Qtd. Vagões	Tonelada Útil (ton)	Comprimento (m)
Minério	Minério de Ferro, Outros Minerais	GDT	3	163	18.093	1.776
Grãos/Farelos	Soja em Grão, Farelo de Soja	HFT	2	105	9.450	1.870

Trem-tipo	Produtos	Vagão	Qtd. Locos	Qtd. Vagões	Tonelada Útil (ton)	Comprimento (m)
Carga Geral	Alimentos Processados, Cimento, Manufaturados, Produtos Não Metálicos	PET	2	96	9.408	1.867
Granel Líquido	Combustíveis, Petroquímicos	TCT	2	96	8.880	1.876

Fonte: ANTT (2019)

Os dados que embasaram a definição dos trens-tipo e os resultados da aplicação da metodologia de validação propostos estão dispostos no Anexo III deste documento.

3.4 Conversão da demanda anual em pares diários de trem (PDT)

A conversão da demanda em pares diários de trem (PDT) possibilita uma futura comparação com a capacidade instalada da ferrovia, indicando o grau de saturação de cada entre pátio.

Combinando o trem tipo ideal de cada um dos produtos com a sua demanda anual, que previamente foi agrupada em macro trechos, pode-se calcular os pares diários de trens (PDT) por meio da equação:

$$PDT = \frac{\left(\frac{TU}{cap}\right)}{\left(\frac{365}{saz}\right)}$$

PDT = Demanda em pares de trens por dia;

TU = Demanda estimada de cada produto transportado em cada ano, em toneladas úteis;

cap = Capacidade de carga do trem-tipo definido (Tabela 6);

saz = Índice de sazonalidade de cada tipo de carga transportada (Tabela 5).

O Anexo IV apresenta, na planilha “PDT”, o detalhamento da demanda de cada produto em pares diários de trem, em cada um dos macro trechos ao longo dos 30 anos de operação da Subconcessão. A soma da demanda de todos os produtos em PDT por macro trecho está apresentada na planilha “PDT TOTAL”, sendo seu extrato mostrado na Tabela 7.

Tabela 7: Resumo da projeção da demanda em PDT

Pátio A	Pátio B	Ano da Subconcessão						
		6	11	16	21	26	31	35
Terminal de Caetité	P36	3	5	6	4	4	4	3
P36	Terminal de Ilhéus	3	6	9	9	9	7	6

Fonte: ANTT (2019)

3.5 Tempos entre pátios

O cálculo dos tempos médios de percurso em cada um dos entre pátios é feito com os dados obtidos na simulação realizada no *software Rail Traffic Controller* (RTC), ponderando os tempos dos trens-tipo selecionados para cada grupo de produtos, com a quantidade de trens previstos no ano pico de cada macro trecho, sendo apresentados no Anexo V. Importante ressaltar que neste anexo, chamado de Cenário Base, foram considerados todos os pátios e terminais previstos em projeto pela VALEC, de onde partirá a avaliação inicial da operação da ferrovia e dos trens-tipo adotados.

3.6 Cálculo da capacidade e da saturação dos segmentos

A capacidade de transporte de uma ferrovia é traduzida pela quantidade de trens que podem circular entre dois pátios de cruzamento, em ambos os sentidos, num período de 24 horas. Para determinação da capacidade são consideradas as condições da ferrovia para a realização do transporte de carga. Dentre elas, destacam-se características associadas à via, ao material rodante e à sinalização ferroviária.

A metodologia escolhida para o cálculo da capacidade da ferrovia foi a fórmula de Colson, cujo resultado é expresso em pares diários de trens (PDT).

3.6.1 Capacidade Instalada

Em linhas singelas, como é o caso da FIOI, o cálculo da capacidade, expresso em pares de trens por dia, pode ser realizado matematicamente por meio da fórmula de Colson mostrada a seguir:

$$Ct = \left(\frac{1.440 \times K}{t_{CG} + \theta} \right)$$

Onde:

Ct = capacidade instalada no trecho (PDT);

K = índice de eficiência da ferrovia = $k_1.k_2$;

k_1 = índice de eficiência ligado à manutenção da via permanente, expresso por:

$$k_1 = \frac{(1440 - \text{Tempo de manutenção})}{1440}$$

k_2 = índice de eficiência ligado à gestão dos recursos operacionais;

t_{CG} : tempo de percurso do trem de ida e volta (min);

θ = tempo de licenciamento (min).

Para definição do índice k_1 , de forma análoga ao valor utilizado no processo de Subconcessão da Ferrovia Norte-Sul: Trecho Porto Nacional/TO – Estrela d'Oeste/SP, adotou-se o índice de eficiência referente à manutenção da via permanente (k_1) de 0,9208. Esse índice teve o valor estimado em função da baixa necessidade de interdições ou interrupções de tráfego que impactem na circulação dos trens ou restrições de via, por se tratar de ferrovia nova em que não há grandes demandas de manutenção.

Quanto ao índice de eficiência ligado à gestão dos recursos operacionais, a ANTT, utilizando a referência teórica apresentada por Lai¹ (2008), desenvolveu metodologia para a definição do k_2 , constante na Nota Técnica nº 83/2014/GEROF/SUFER/ANTT, a qual estabelece os seguintes valores: 0,6 para trechos ferroviários não sinalizados; 0,7 para os trechos com sistema de sinalização com funcionalidades análogas ao *Automatic Block Signaling* (ABS); e 0,8 para os trechos com sistema de sinalização com funcionalidades análogas ao Controle Centralizado de Tráfego (CTC).

Cabe ressaltar que este critério considera informações de uma série de parâmetros, tais como características do sistema de intertravamento, dos sistemas de bloqueio, do Centro de Controle Operacional (CCO), entre outros.

Assim, seguindo a metodologia apresentada na referida Nota Técnica para a definição do valor de k_2 , definiu-se, após análise dos critérios estabelecidos, que a solução dimensionada para a FIOI 1 possui funcionalidades similares às de um sistema CTC. Dessa forma, o índice de eficiência referente à gestão de recursos operacionais (k_2) foi fixado em 0,8.

Para o tempo de licenciamento (θ), manteve-se a estimativa apresentada nos documentos submetidos à Audiência Pública, de 5 minutos.

¹ LAI, Y. C. *Introduction to Railroad Capacity*. AREMA REES 2008

Cada um desses coeficientes está apresentado em planilha própria no Anexo VII, juntamente com os dados de tempo de importação e exportação definidos previamente, o que permite o cálculo da capacidade instalada, detalhada para cada segmento entre pátios, ano a ano, no Cenário Base. Os resultados estão apresentados na planilha “Capacidade (PDT)”, também no Anexo VII.

Outra planilha relevante para os cálculos nesse anexo é a “# Vias” que define cada segmento como linha singela ou duplicada. No caso da FIOI, a ferrovia é considerada integralmente singela, sendo preenchido o valor “1” para todos os entre pátios.

3.6.2 Saturação

A saturação pode ser entendida como a taxa de utilização da capacidade, ou seja, a fração da capacidade necessária para atender à demanda em um determinado trecho.

Após a conversão da demanda em pares de trem por dia e do cálculo da capacidade da via ao longo de todos os seus segmentos, calculou-se a saturação por meio da utilização da fórmula abaixo:

$$Saturação (\%) = \frac{Demanda (PDT)}{Capacidade (PDT)} * 100$$

A partir da taxa de utilização da capacidade por segmento e por ano é possível identificar os gargalos ao longo da ferrovia e, conseqüentemente, propor intervenções, quando necessário, para evitar situações de saturação da malha e dificuldade na operação do transporte ferroviário.

Considera-se que o segmento se encontra saturado e precisa de intervenção de ampliação da capacidade para poder atender à demanda a partir da taxa crítica de utilização da capacidade de 90%, sendo esta uma premissa estabelecida pela Agência para a análise dos estudos operacionais da Ferrovia Norte-Sul e extrapolada para as outras concessões.

A premissa de saturação dos segmentos com nível de utilização da capacidade da ferrovia em 90% considera que, para a implantação das intervenções, necessita-se de tempo para elaboração dos projetos e desenvolvimento das obras.

3.6.3 Resultado do cálculo da capacidade instalada e da saturação da via

Adotando-se o Cenário Base, com todos os pátios e terminais previstos em projeto pela VALEC, e considerando as premissas expostas anteriormente, verifica-se que a FIOLE 1 apresenta capacidade instalada suficiente para suportar o tráfego de cargas projetado para o período da Subconcessão. Os tempos resultantes da simulação do RTC estão apresentados na Tabela 8 e os resultados máximos de saturação, bem como o ano de sua ocorrência, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 8: Resumo dos tempos de percurso – Cenário Base

Pátio Início	Pátio Fim	Tempo de Ida (min)	Tempo de Volta (min)
Polo de Caetité (P26)	(P27)	21,27	46,31
(P27)	(P28)	22,16	36,84
(P28)	(P29)	24,18	32,92
(P29)	(P30)	24,35	34,96
(P30)	(P31)	26,14	32,01
(P31)	(P32)	20,54	29,08
(P32)	(P33)	23,72	35,96
(P33)	(P34)	22,04	30,81
(P34)	(P35)	23,33	29,07
(P35)	Brumado (P36)	16,06	27,00
Brumado (P36)	(P37)	20,62	28,85
(P37)	(P38)	11,88	23,11
(P38)	(P39)	17,14	26,84
(P39)	(P40)	20,97	28,03
(P40)	(P41)	14,20	24,79
(P41)	(P42)	19,31	27,94
(P42)	(P43)	18,42	27,12
(P43)	(P44)	23,50	28,64
(P44)	(P45)	25,54	27,74
(P45)	(P46)	26,85	26,99
(P46)	(P47)	24,23	33,50
(P47)	(P48)	22,63	26,97
(P48)	(P49)	17,66	28,10
(P49)	(P50)	21,16	29,31
(P50)	(P51)	28,24	33,82
(P51)	(P52)	18,63	28,59
(P52)	(P53)	16,00	25,98
(P53)	(P54)	19,54	27,21
(P54)	(P55)	16,81	26,98
(P55)	(P56)	30,47	25,33
(P56)	(P57)	26,34	28,94

Pátio Início	Pátio Fim	Tempo de Ida (min)	Tempo de Volta (min)
(P57)	(P58)	15,06	26,91
(P58)	(P59)	8,18	19,89
(P59)	Terminal de Ilhéus (P60)	12,48	27,23

Fonte: ANTT (2019)

Tabela 9: Resumo da capacidade e da saturação dos segmentos entre pátios – Cenário Base

Pátio Início	Pátio Fim	Capacidade de Tráfego - Pares de trens/dia (PDT)	Saturação Máxima (%)	Ano da Saturação Máxima
Polo de Caetitê (P26)	(P27)	14,6	39%	15
(P27)	(P28)	16,6	34%	15
(P28)	(P29)	17,1	33%	15
(P29)	(P30)	16,5	34%	15
(P30)	(P31)	16,8	34%	15
(P31)	(P32)	19,4	29%	15
(P32)	(P33)	16,4	35%	15
(P33)	(P34)	18,4	31%	15
(P34)	(P35)	18,5	31%	15
(P35)	Brumado (P36)	22,1	26%	15
Brumado (P36)	(P37)	19,5	36%	15
(P37)	(P38)	26,5	26%	15
(P38)	(P39)	21,7	32%	15
(P39)	(P40)	19,6	35%	15
(P40)	(P41)	24,1	29%	15
(P41)	(P42)	20,3	34%	15
(P42)	(P43)	21,0	33%	15
(P43)	(P44)	18,6	38%	15
(P44)	(P45)	18,2	38%	15
(P45)	(P46)	18,0	39%	15
(P46)	(P47)	16,9	41%	15
(P47)	(P48)	19,4	36%	15
(P48)	(P49)	20,9	33%	15
(P49)	(P50)	19,1	36%	15
(P50)	(P51)	15,8	44%	15
(P51)	(P52)	20,3	34%	15
(P52)	(P53)	22,6	31%	15
(P53)	(P54)	20,5	34%	15
(P54)	(P55)	21,7	32%	15
(P55)	(P56)	17,5	40%	15
(P56)	(P57)	17,6	40%	15
(P57)	(P58)	22,6	31%	15
(P58)	(P59)	32,1	22%	15
(P59)	Terminal de Ilhéus (P60)	23,7	29%	15

Fonte: ANTT (2019)

Os resultados detalhados dos cálculos de saturação por segmento entre pátios e por ano podem ser verificados no Anexo VII. Com isso constata-se a taxa de ocupação da capacidade instalada na malha para todo o período de Subconcessão pode ser considerada baixa, uma vez que atinge o valor máximo de 44%.

3.7 Otimização do plano de vias

Considerando o resultado do cálculo da capacidade instalada e da saturação da via ao longo do período de Subconcessão no Cenário Base e tendo em vista que a maior parte dos desvios de cruzamento previstos em projeto ainda não foram implantados, propõe-se a redução da quantidade de pátios a serem executados.

Para tanto, foram realizadas novas simulações operacionais no RTC, seguindo a mesma metodologia já descrita, retirando-se pátios ainda não executados. A seleção desses pátios foi baseada na saturação dos pátios adjacentes e respeitando-se, como premissa, a distância máxima entre pátios de 50 km, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Seleção de pátios – Cenário “Faseamento 1”

Cenário Base		Extensão entre pátios (km)	Cenário 01 - Faseamento 1		Extensão entre pátios (km)
Pátio Início	Pátio Fim		Pátio Início	Pátio Fim	
Polo de Caetité (P26)	(P27)	16,469	Polo de Caetité (P26)	(P28)	37,104
(P27)	(P28)	18,274			
(P28)	(P29)	17,519	(P28)	(P30)	39,429
(P29)	(P30)	19,709			
(P30)	(P31)	17,75	(P30)	(P32)	33,84
(P31)	(P32)	13,915			
(P32)	(P33)	17,331	(P32)	(P34)	34,566
(P33)	(P34)	15,06			
(P34)	(P35)	14,819	(P34)	Brumado (P36)	28,819
(P35)	Brumado (P36)	11,61			
Brumado (P36)	(P37)	12,049	Brumado (P36)	(P37)	12,049
(P37)	(P38)	8,546	(P37)	(P38)	8,546
(P38)	(P39)	12,102	(P38)	(P39)	12,102
(P39)	(P40)	11,829	(P39)	(P40)	11,829
(P40)	(P41)	10,243	(P40)	(P41)	10,243
(P41)	(P42)	13,7	(P41)	(P42)	13,7

Cenário Base		Extensão entre pátios (km)	Cenário 01 - Faseamento 1		Extensão entre pátios (km)
Pátio Início	Pátio Fim		Pátio Início	Pátio Fim	
(P42)	(P43)	12,411	(P42)	(P43)	12,411
(P43)	(P44)	14,309	(P43)	(P46)	43,184
(P44)	(P45)	13,337			
(P45)	(P46)	11,143			
(P46)	(P47)	13,85	(P46)	(P49)	42,866
(P47)	(P48)	11,284			
(P48)	(P49)	13,322			
(P49)	(P50)	14,605	(P49)	(P51)	32,652
(P50)	(P51)	15,859			
(P51)	(P52)	13,829	(P51)	(P54)	42,685
(P52)	(P53)	11,751			
(P53)	(P54)	12,357			
(P54)	(P55)	11,81	(P54)	(P57)	41,011
(P55)	(P56)	10,814			
(P56)	(P57)	13,989			
(P57)	(P58)	11,591	(P57)	Terminal de Ilhéus (P60)	30,391
(P58)	(P59)	5,111			
(P59)	Terminal de Ilhéus (P60)	9,021			

Fonte: ANTT (2019)

Com os novos resultados de tempos de percurso, foi recalculada a capacidade da via, conforme apresentado na Tabela 11, onde se pode verificar que o segmento P43-P46 atinge o limite de 90% de saturação. Todavia, estando o valor de saturação máxima (92%) muito próximo ao limite e, considerando as possíveis divergências entre o modelo teórico e a realidade operacional da ferrovia, assume-se como aceitável esta saturação, não ensejando outros pátios adicionais. Os resultados completos da simulação no Cenário “Faseamento 1” estão apresentados no Anexo VII.

Tabela 11: Resumo da capacidade e da saturação dos segmentos entre pátios – Cenário “Faseamento 1”

Pátio Início	Pátio Fim	Capacidade - Pares de trens/dia (PDT)	Saturação no Ano 12 (%)	Saturação máxima (%)
Polo de Caetité (P26)	(P28)	8,7	61%	65%
(P28)	(P30)	9,7	55%	59%
(P30)	(P32)	10,4	51%	55%
(P32)	(P34)	10,1	53%	56%
(P34)	Brumado (P36)	11,7	45%	49%
Brumado (P36)	(P37)	19,5	35%	36%

Pátio Início	Pátio Fim	Capacidade - Pares de trens/dia (PDT)	Saturação no Ano 12 (%)	Saturação máxima (%)
(P37)	(P38)	26,5	26%	26%
(P38)	(P39)	21,7	32%	32%
(P39)	(P40)	19,6	35%	35%
(P40)	(P41)	24,1	28%	29%
(P41)	(P42)	20,3	34%	34%
(P42)	(P43)	21,0	33%	33%
(P43)	(P46)	7,5	91%	92%
(P46)	(P49)	7,9	87%	88%
(P49)	(P51)	10,2	68%	69%
(P51)	(P54)	9,0	76%	77%
(P54)	(P57)	7,8	88%	90%
(P57)	Terminal de Ilhéus (P60)	11,6	59%	60%

Fonte: ANTT (2019)

Apresentam-se a seguir resumos obtidos dos cenários com redução de pátios. Os resultados completos da simulação no Cenário “Faseamento 1” estão apresentados no Anexo VIII.

Tabela 12: Resumo dos pátios a serem implantados

Pátio	km Início	km Fim	Ano de início de operação
Polo de Caetité (P26)	969+628	972+256	6
(P27)	988+725	991+086	Não é necessário
(P28)	1009+360	1011+535	6
(P29)	1029+054	1031+255	Não é necessário
(P30)	1050+964	1053+140	6
(P31)	1070+890	1073+065	Não é necessário
(P32)	1086+980	1089+549	6
(P33)	1106+880	1109+055	Não é necessário
(P34)	1124+115	1126+291	6
(P35)	1141+110	1143+550	Não é necessário
Brumado (P36)	1147+110	1149+360	6
(P37)	1161+620	1163+800	6
(P38)	1172+360	1174+740	6
(P39)	1186+660	1188+820	6
(P40)	1200+660	1202+720	6
(P41)	1212+920	1215+100	6
(P42)	1228+800	1230+900	6
(P43)	1243+200	1245+300	6
(P44)	1259+625	1261+805	Não é necessário
(P45)	1275+142	1277+357	Não é necessário
(P46)	1288+500	1290+880	6
(P47)	1304+730	1306+940	Não é necessário
(P48)	1320+000	1322+200	Não é necessário

Pátio	km Início	km Fim	Ano de início de operação
(P49)	1335+478	1337+657	6
(P50)	1352+262	1354+450	Não é necessário
(P51)	1370+300	1372+500	6
(P52)	1384+851	1387+400	Não é necessário
(P53)	1399+151	1401+350	Não é necessário
(P54)	1413+701	1415+900	6
(P55)	1427+801	1430+000	Não é necessário
(P56)	1440+801	1443+000	Não é necessário
(P57)	1457+001	1459+200	6
(P58)	1471+601	1474+070	Não é necessário
(P59)	1479+181	1481+380	Não é necessário
Terminal de Ilhéus (P60)	1490+353	1492+818	6

Fonte: ANTT (2019)

3.8 Dimensionamento de frota

No que se refere ao dimensionamento de frota, a ANTT desenvolveu e aplicou metodologia de cálculo da necessidade de locomotivas e vagões para atendimento à demanda, semelhante à empregada na modelagem da Subconcessão da Ferrovia Norte-Sul: Trecho Porto Nacional/TO – Estrela d'Oeste/SP, versão pós Audiência Pública nº 007/2017.

Para este fim, foi necessária a carga de dados, informações e premissas que foram utilizados nos cálculos, incluindo:

- Demanda de carga em toneladas úteis (TU) e o esforço em tonelada quilômetro útil (TKU);
- Velocidade Média Comercial (VMC) adotada;
- Tempos de carga e descarga considerados;
- Características dos trens-tipo;
- Índices de sazonalidade dos produtos transportados;
- Índices de indisponibilidade de vagões e locomotivas.

Embora semelhantes em metodologia, os cálculos realizados foram segregados de forma a determinar a frota necessária para atendimento à demanda própria na FIOLE 1 e para o atendimento ao direito de passagem das suas cargas em outras malhas.

3.8.1 Aquisição de frota para atendimento à demanda

3.8.1.1 Premissas e dados de entrada

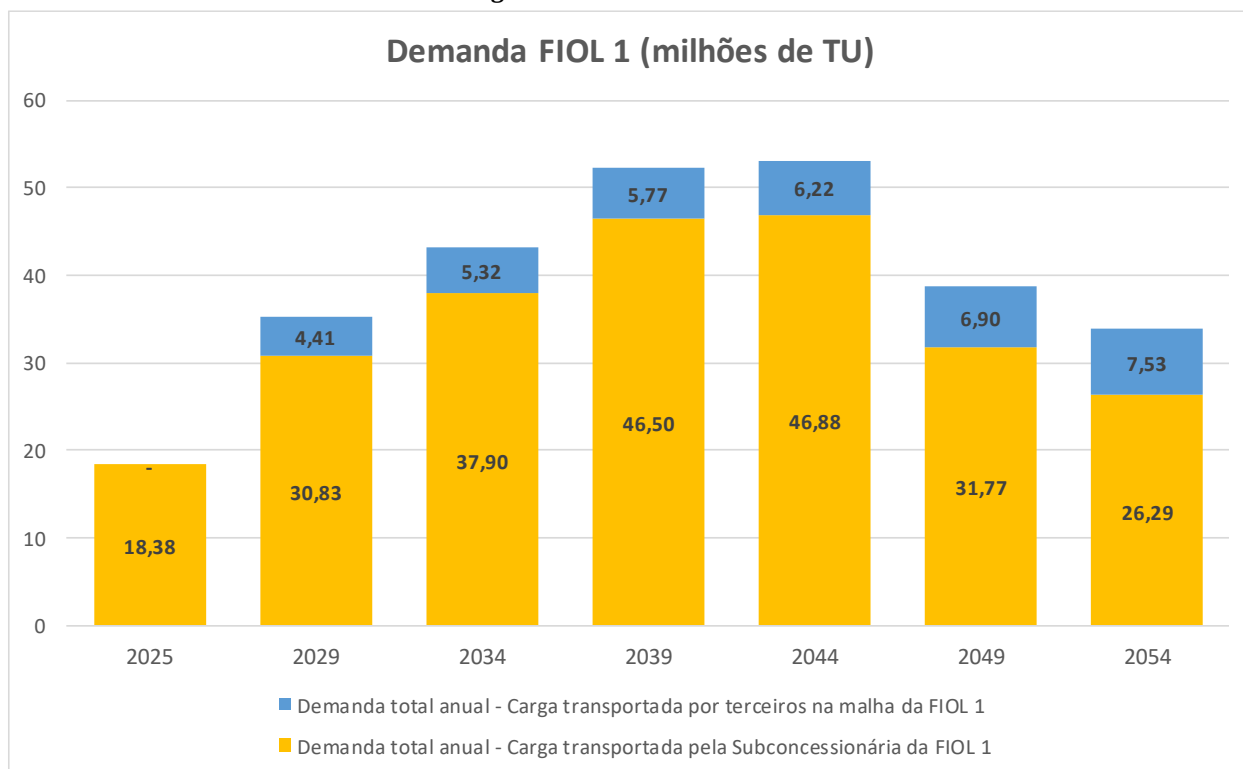
3.8.1.1.1 Demanda e esforços adotados

A demanda adotada para o cálculo da frota de locomotivas e vagões baseia-se no Caderno de Demanda da ANTT após os ajustes decorrentes da compatibilização dos resultados com os estudos pós Audiência Pública nº 007/2017 (Subconcessão da Ferrovia Norte-Sul: Trecho Porto Nacional/TO – Estrela d’Oeste/SP).

De acordo com o Estudo de Demanda da FIOI, além das cargas a serem transportadas integralmente no trecho entre Ilhéus/BA e Caetité/BA, foram identificados potenciais fluxos de transporte de cargas no trecho da FIOI 1 ora em estudo com origem ou destino nas malhas da Ferrovia de Integração Oeste-Leste entre Caetité e Barreiras/BA (“FIOI 2”, ainda não concluída) e entre Barreiras e o entroncamento com a Ferrovia Norte-Sul Tramo Central (“FIOI 3”, ainda não iniciada), a serem futuramente subconcedidas, e na malha da Ferrovia Norte-Sul Tramo Central (trecho Porto Nacional/TO – Estrela d’Oeste/SP), subconcedida à Rumo Malha Central (RMC).

Os valores de demanda em TU estimados para transporte pela Subconcessionária da FIOI 1 na sua própria malha ou em malha subconcedida a terceiros, bem como por terceiros na malha da FIOI 1, são apresentados na Figura 2.

Figura 2: Demanda da FIOl



Fonte: ANTT (2019)

Os volumes de carga referentes ao direito de passagem de outras ferrovias na FIOl 1 foram desconsiderados no cálculo de frota da Subconcessionária, cabendo a ela assegurar a disponibilidade de material rodante apenas para o adequado atendimento de sua demanda própria e de seu direito de passagem nas malhas das demais subconcessionárias.

Os valores de demanda e esforço da ferrovia em transportar carga, respectivamente em TU e TKU estão dispostos nos Anexos IX e X.

A apresentação das premissas, dados e cálculos de dimensionamento de frota no presente estudo foi segregada em transporte da demanda da FIOl 1 em sua própria malha e transporte dessa demanda na malha de terceiros.

3.8.1.1.2 Velocidade Média Comercial (VMC)

A Velocidade Média Comercial (VMC) dos trens foi obtida pela razão entre a distância total percorrida (extensão da ferrovia multiplicada por 2) e o tempo médio ponderado de percurso. Este, por sua vez, foi calculado pela soma da multiplicação dos tempos entre pátios obtidos da simulação operacional no RTC, para cada segmento ferroviário e para cada trem-tipo, pela respectiva quantidade de trens em cada condição, dividida pela quantidade total de trens.

Considerando ainda que os tempos simulados não contemplam os tempos dentro dos pátios, foi utilizado um fator de 1,30 referente à relação *transit time*/seção de bloqueio. Para definição desse fator, foram observadas as relações de tempo de trânsito e tempo em movimento em outras ferrovias, sendo adotado o valor verificado na Estrada de Ferro Carajás (EFC).

Aplicando-se a metodologia descrita e os tempos simulados, foi definida a velocidade média de 28,77 km/h no Cenário Base.

3.8.1.1.3 Tempos de carga e descarga

Para o cálculo de rotação das locomotivas e dos vagões, detalhado adiante, foram considerados, por tipo de fluxo, os tempos de carga e descarga das composições.

Como referência geral, foram adotados os mesmos tempos empregados nos estudos de prorrogação antecipada de concessões ferroviárias desde o processo referente à Malha Paulista (versão pós Audiência Pública nº 010/2016). Especificamente quanto ao minério de ferro, os tempos de carga e descarga adotados foram os utilizados nos estudos de prorrogação antecipada da concessão da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM).

Os resultados deste levantamento estão dispostos na tabela abaixo. As planilhas com todos os tempos de carga e descarga por grupo de produtos estão apresentadas no Anexo IX (planilhas “Tempo na Origem” e “Tempo no Destino”).

Tabela 13: Tempos médios de carga e descarga (horas)

Mercadoria	Tempos (horas)	
	Carga	Descarga
Minério de Ferro	6	13
Outros Minerais	24	24
Soja em grão	24	24
Farelo de Soja	24	24
Combustíveis	48	48
Petroquímicos	24	24
Alimentos Processados	24	24
Cimento	24	24
Manufaturados	24	24
Produtos Não Metálicos	24	24

Fonte: ANTT (2019)

As diferenças quando verificadas entre os tempos de carga e descarga das mesmas mercadorias podem ser justificadas, entre outros fatores, pela necessidade de tombamento de vagões e tempo para realizar a abertura da escotilha para descarga.

3.8.1.1.4 Trens-tipo

Os trens-tipo empregados para cálculo da frota são os mesmos previamente apresentados (Tabela 6), mas de forma segregada, de modo a apresentar as características das composições para cada fluxo de mercadoria.

A metodologia aplicada a trens-tipo no levantamento de material rodante necessário consiste na análise individual de cada fluxo de mercadoria, de modo a definir o perfil mais adequado de composição a ser utilizado pela Subconcessionária para cada tipo de produto.

3.8.1.1.5 Sazonalidade

Os índices de sazonalidade aplicados por tipo de produto são os mesmos adotados no cálculo de PDT para verificação da saturação da via (Tabela 5).

3.8.1.1.6 Indisponibilidade de vagões e locomotivas

A indisponibilidade de frota seguiu a metodologia apresentada na versão pós Audiência Pública nº 007/2017 da Subconcessão da Ferrovia Norte-Sul: Trecho Porto Nacional/TO – Estrela d'Oeste/SP.

Foram utilizados dados do SAFF da ANTT, realizando-se uma média dos valores de indisponibilidade para locomotivas e para vagões, excluindo-se os valores *outliers* ou discrepantes, conforme mostra a Tabela 14.

Tabela 14: Indisponibilidade de locomotivas e de vagões apresentada nos documentos pós Audiência Pública nº 007/2017 – Ferrovia Norte-Sul

Ferrovia	Indisponibilidade	
	Vagão	Locomotiva
EFC	4,27%	13,54%
EFPO	31,03%	68,22%
EFVM	7,92%	15,11%
FCA	16,36%	23,21%
FNSTN	2,79%	10,57%
FTC	44,77%	51,96%
FTL	35,82%	32,25%
MRS	6,86%	19,89%
RMN	0,55%	8,88%
RMO	3,31%	3,06%
RMP	3,60%	2,28%
RMS	2,41%	5,88%
MÉDIA	4,45%	10,99%

Fonte: SAFF, ANTT (2017)

O cálculo da frota de locomotivas e vagões da FIOLE 1 adotou os mesmos valores de indisponibilidade da Ferrovia Norte-Sul, trecho Porto Nacional/TO – Estrela d'Oeste/SP, ou seja, 4,45% de indisponibilidade de vagões e 10,99% de indisponibilidade de locomotivas ao longo de todo o período de Subconcessão.

3.8.1.2 Metodologia de cálculo

De posse de todas as informações necessárias, foram efetuados os cálculos de:

- Distância média;
- Rotação e ciclo de materiais rodantes;
- Frequência de trens para o fluxo de transporte;
- Frota de vagões;
- Frota de locomotivas;
- Cálculo de frota para atendimento ao direito de passagem.

3.8.1.2.1 Distância média

As distâncias médias percorridas são calculadas efetuando-se a divisão entre o esforço de carga (TKU) pela carga transportada (TU):

$$L = \frac{TKU}{TU}$$

Onde:

L = distância média em km;

TKU = esforço de carga para cada produto no ano a ser considerado, em tonelada quilômetro útil; e

TU = carga total de cada produto no ano a ser considerado, em tonelada útil.

Os cálculos realizados e os valores obtidos podem ser verificados no Anexo IX (planilha “KM Total”).

3.8.1.2.2 Rotação e ciclo de materiais rodantes

Com a definição da Velocidade Média Comercial e das distâncias conforme itens anteriores, é possível obter, por meio de cálculos, os tempos de rotação e ciclo de todo o material rodante.

Vagões

Segundo Rosa² (2016), a rotação de vagões pode ser entendida como o tempo gasto entre dois carregamentos sucessivos. Neste tempo estão incluídos os tempos de carregamento do vagão na origem, circulação do vagão carregado até o destino, descarga no destino e transporte do vagão vazio até outro ponto de carregamento.

Caso não sejam conhecidos os tempos de viagem e os tempos de operação na origem e no destino, pode-se calcular a rotação média da seguinte forma:

$$R = \frac{2 \cdot L}{24 \cdot V}$$

Sendo:

R = rotação de vagões, em dias;

L = distância entre o ponto de origem e o ponto de destino, em km;

V = velocidade comercial do trem, em km/h.

Considerando que os tempos de espera dos vagões nos terminais não estão contemplados na VMC adotada, foram acrescidos à rotação os tempos de carga e descarga:

² ROSA, Rodrigo de Alvarenga. Operação Ferroviária – Planejamento, Dimensionamento e Acompanhamento. LTC, 2016.

$$R = \frac{2 \cdot L}{24 \cdot V} + \frac{TC}{24} + \frac{TD}{24}$$

Sendo:

R = rotação de vagões, em dias;

L = distância entre o ponto de origem e o ponto de destino, em km;

V = velocidade comercial do trem, em km/h;

TC = tempo de carga; e

TD = tempo de descarga.

Locomotivas

De maneira análoga aos vagões, a rotação das locomotivas é calculada da seguinte forma:

$$R = \frac{2 \cdot L}{24 \cdot V}$$

Sendo:

R = rotação de locomotivas em dias;

L = distância entre o ponto de origem e o ponto de destino, em km;

V = velocidade comercial do trem, em km/h.

Os cálculos e os resultados de rotação para locomotivas e vagões podem ser verificados no Anexo IX (planilhas “Rotacao Vagao” e “Rotacao Locomotiva”).

3.8.1.2.3 Frequência de trens para o fluxo de transporte

Por fim, para o cálculo dos quantitativos de frota é necessária a determinação da frequência de trens para o fluxo de transporte. Esse cálculo foi feito por meio da seguinte equação:

$$Nt = \frac{\left(\frac{TU}{\text{vagões} \cdot \text{capacidade}} \right)}{\left(\frac{365}{\text{saz}} \right)}$$

Sendo:

Nt = frequência de trens;

TU = carga a ser transportada;

vagões = quantidade de vagões do trem-tipo;

capacidade = capacidade de carga de cada vagão;

saz = sazonalidade da carga.

Os cálculos e os resultados de frequência de trens estão apresentados no Anexo IX (planilha “Frequencia”).

3.8.1.2.4 Frota de vagões

De posse então de todos os dados acima, é possível efetuar os cálculos para obtenção da frota necessária à operação da ferrovia.

Assim, a frota de vagões foi calculada conforme a fórmula abaixo:

$$N = \frac{(1 + m) \cdot (C_f \cdot R)}{(T_f \cdot C_v)}$$

Sendo:

m = indisponibilidade do vagão;

C_f = carga a ser transportada, em tonelada;

R = rotação do vagão, em dias;

T_f = período dentro do qual se deve fazer o fluxo de transporte, em dias (considerando sazonalidade);

C_v = Capacidade de carga de cada do vagão, em toneladas.

Os resultados dos cálculos estão apresentados no Anexo IX (planilha “Vagões”).

3.8.1.2.5 Frota de locomotivas

O cálculo da frota de locomotivas para atender a um fluxo de transporte é feito a partir da seguinte equação:

$$N = N_t \cdot L_t \cdot R \cdot (1 + m)$$

N_t = frequência de trens para o fluxo de transporte;

L_t = número de locomotivas por trem;

R = rotação da locomotiva, em dias;

m = indisponibilidade da locomotiva.

Os resultados dos cálculos estão apresentados no Anexo IX (planilha “Locomotivas”).

3.8.1.2.6 Cálculo de frota para atendimento ao direito de passagem

Similarmente ao que foi executado para o transporte de cargas da FIO 1 em sua própria malha, foram executados os cálculos considerando as cargas desta que trafegam na malha de outras subconcessionárias por meio de direito de passagem.

Para a velocidade média comercial dos demais trechos da FIOIOL não contemplados na Subconcessão em estudo (FIOIOL 2 e FIOIOL 3), adotou-se a mesma VMC utilizada para a FIOIOL 1 entre Ilhéus e Caetité, de 28,77 km/h.

Para a VMC na malha da Ferrovia Norte-Sul Tramo Central, adotou-se a velocidade considerada nos estudos para Subconcessão desta ferrovia, de 19,96 km/h.

As metodologias de cálculo de distância média, rotação de materiais rodantes, frequência de trens, número de vagões e de locomotivas foram as mesmas e, por essa razão, não serão aqui reproduzidas.

As premissas, dados e cálculos para obtenção da frota para atendimento ao direito de passagem estão apresentadas no Anexo X.

3.8.2 Reposição de ativos

De forma a buscar subsídio técnico que embasasse os seus estudos, a ANTT, por meio da literatura existente sobre o tema, adotou as seguintes premissas para o final de vida útil de frota principal:

- Idade máxima para as locomotivas: 40 anos;
- Idade máxima para os vagões: não aplicada.

No caso das locomotivas, a ANTT verificou que o documento da *Enviromment Protection Agency (EPA)*: “*Locomotive Emission Standards - Regulatory Support Document*”, indica que a vida útil da frota de locomotivas é estimada em 40 anos, valor este empregado como referência.

A partir do ano de aquisição/fabricação de cada locomotiva, adiciona-se a idade máxima indicada, obtendo-se o ano da substituição. Atingida a idade máxima do ativo, procede-se à sua baixa e verifica-se a quantidade existente. No caso de a frota existente ser inferior à necessária, faz-se necessária a aquisição de ativo na quantidade suficiente para a equiparação.

No caso do presente estudo, tendo em vista o prazo de Subconcessão da FIOIOL 1 ser inferior à vida útil das locomotivas e considerando a aquisição de material rodante novo para o início de operação pela Subconcessionária, não serão necessárias novas aquisições de locomotivas por fim de sua vida útil.

No que tange aos vagões, a ANTT realizou pesquisa sobre os *benchmarkings* considerados na literatura técnica, conforme listado abaixo:

- *Federal Transit Administration* - FTA - USA (Disponível em: <https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/FTA%20TAM%20ULB%20Cheat%20Sheet%202016-10-26.pdf>);
- *Office of Rail Regulation* - Documento “*Freight wagon TSI process*” (Disponível em: http://orr.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0018/5058/tsi-study-letter-301109.pdf);
- *The generalized life cycle cost model for BOXN wagons of Indian Railways* (Disponível em: http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/91934/15/16_chapter7.pdf);
- *Feasibility Study of measures for the rehabilitation and renewal of the freight wagon fleet of Tajik Railways* (Disponível em: www.traceca-org.org/en/technical-assistance/...of-railway-rehabilitation).

Apesar de a literatura técnica indicar idades máximas de vagões em cerca de 30 a 35 anos, a ANTT adota que a Subconcessionária realizará reposição de componentes de vagões (por exemplo, peças dos truques - rodas, rolamentos, molas, sistema de freios, ampara-balanços, sapatas de freios etc.), que possuem vida útil menor que as “caixas” (*buckets*). Portanto, essas reposições de componentes permitirão que o vagão continue em operação, não sendo pertinente a ANTT prever uma idade máxima para este ativo.

Dessa forma, não foi considerada a reposição de vagões por idade máxima.

Quanto à eventual reposição de vagões por perda em acidentes, considerou-se que a Subconcessionária contratará seguro para cobertura desse tipo de sinistro. Assim, a reposição desses ativos será realizada na quantidade suficiente para substituição do material rodante sucateado, por meio dos recursos de indenização oriundos do seguro, não havendo necessidade de quantificação de vagões acidentados ao longo do período de Subconcessão para aquisição de frota.

3.8.3 Resultados

A partir da aplicação da metodologia da ANTT, a qual considera a evolução da demanda ao longo dos anos da Subconcessão, foram obtidos os seguintes quantitativos, conforme cálculos realizados:

Tabela 15: Quantitativo de locomotivas AC44 a serem disponibilizadas pela Subconcessionária

Ano	Locomotivas para transporte na malha da FIOL	Locomotivas para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Locomotivas necessárias conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Locomotivas a serem disponibilizadas
6	16	-	16	16	-	16
7	22	-	22	6	-	22
8	22	-	22	-	-	22
9	25	-	25	3	-	25
10	25	2	27	2	-	27
11	26	2	28	1	-	28
12	28	2	30	2	-	30
13	28	2	30	-	-	30
14	28	2	30	-	-	30
15	28	5	33	3	-	33
16	28	6	34	1	-	34
17	24	6	30	-	4	30
18	23	6	29	-	1	29
19	19	6	25	-	4	25
20	18	6	24	-	-	25
21	18	6	24	-	-	25
22	18	6	24	-	-	25
23	18	6	24	-	-	25
24	18	7	25	-	-	25
25	16	7	23	-	-	25
26	16	7	23	-	-	25
27	16	7	23	-	-	25
28	16	7	23	-	-	25
29	16	7	23	-	-	25
30	16	7	23	-	-	25
31	17	7	24	-	-	25
32	17	8	25	-	-	25
33	17	8	25	-	-	25
34	17	8	25	-	-	25
35	12	8	20	-	5	20

Fonte: ANTT (2019)

Tabela 16: Quantitativo de vagões GDT (trem-tipo Minério) a serem disponibilizados pela Subconcessionária

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOL	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões GDT necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões GDT a serem disponibilizados
6	1107	-	1107	1.107	-	1.107
7	1533	-	1533	426	-	1.533
8	1565	-	1565	32	-	1.565
9	1831	-	1831	266	-	1.831
10	1782	-	1782	-	-	1.831
11	1899	-	1899	68	-	1.899
12	2007	-	2007	108	-	2.007
13	1998	-	1998	-	7	2.000
14	1988	-	1988	-	-	2.000
15	2000	-	2000	-	-	2.000
16	1959	-	1959	-	41	1.959
17	1673	-	1673	-	286	1.673
18	1614	-	1614	-	59	1.614
19	1299	-	1299	-	315	1.299
20	1199	-	1199	-	85	1.214
21	1195	-	1195	-	-	1.214
22	1209	-	1209	-	-	1.214
23	1214	-	1214	-	-	1.214
24	1204	-	1204	-	10	1.204
25	1027	-	1027	-	156	1.048
26	996	-	996	-	-	1.048
27	987	-	987	-	-	1.048
28	989	-	989	-	-	1.048
29	992	-	992	-	-	1.048
30	994	-	994	-	-	1.048
31	1030	-	1030	-	-	1.048
32	1046	-	1046	-	-	1.048
33	1048	-	1048	-	-	1.048
34	1006	-	1006	-	42	1.006
35	625	-	625	-	381	625

Fonte: ANTT (2019)

Tabela 17: Quantitativo de vagões HFT (trem-tipo Graneleiro) a serem disponibilizados pela Subconcessionária

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOL	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões HFT necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões HFT a serem disponibilizados
6	238	-	238	238	-	238

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOI	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões HFT necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões HFT a serem disponibilizados
7	243	-	243	5	-	243
8	249	-	249	6	-	249
9	257	-	257	8	-	257
10	7	-	7	-	243	14
11	7	-	7	-	-	14
12	7	-	7	-	-	14
13	7	-	7	-	-	14
14	8	-	8	-	-	14
15	8	-	8	-	-	14
16	8	-	8	-	-	14
17	9	-	9	-	-	14
18	9	-	9	-	-	14
19	9	-	9	-	-	14
20	10	-	10	-	-	14
21	10	-	10	-	-	14
22	11	-	11	-	-	14
23	11	-	11	-	-	14
24	12	-	12	-	-	14
25	12	-	12	-	-	14
26	12	-	12	-	-	14
27	13	-	13	-	-	14
28	13	-	13	-	-	14
29	13	-	13	-	-	14
30	13	-	13	-	-	14
31	13	-	13	-	-	14
32	14	-	14	-	-	14
33	14	-	14	-	-	14
34	14	-	14	-	-	14
35	14	-	14	-	-	14

Fonte: ANTT (2019)

Tabela 18: Quantitativo de vagões PET (trem-tipo Plataforma) a serem disponibilizados pela Subconcessionária

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOI	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões PET necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões PET a serem disponibilizados
6	46	-	46	46	-	46
7	46	-	46	-	-	46
8	47	-	47	1	-	47

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOI	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões PET necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões PET a serem disponibilizados
9	47	-	47	-	-	47
10	57	10	67	20	-	67
11	60	10	70	3	-	70
12	63	10	73	3	-	73
13	66	10	76	3	-	76
14	69	10	79	3	-	79
15	106	106	212	133	-	212
16	106	108	214	2	-	214
17	106	111	217	3	-	217
18	106	114	220	3	-	220
19	106	117	223	3	-	223
20	106	120	226	3	-	226
21	107	122	229	3	-	229
22	108	124	232	3	-	232
23	110	126	236	4	-	236
24	111	128	239	3	-	239
25	112	130	242	3	-	242
26	114	132	246	4	-	246
27	115	134	249	3	-	249
28	117	135	252	3	-	252
29	119	137	256	4	-	256
30	121	139	260	4	-	260
31	122	141	263	3	-	263
32	124	143	267	4	-	267
33	126	146	272	5	-	272
34	128	148	276	4	-	276
35	129	150	279	3	-	279

Fonte: ANTT (2019)

Tabela 19: Quantitativo de vagões TCT (trem-tipo Tanque) a serem disponibilizados pela Subconcessionária

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOI	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões TCT necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões TCT a serem disponibilizados
6	42	0	42	42	0	42
7	45	0	45	3	0	45
8	47	0	47	2	0	47
9	50	0	50	3	0	50
10	272	64	336	286	0	336
11	278	66	344	8	0	344

Ano	Vagões para transporte na malha da FIOI	Vagões para transporte por Direito de Passagem em outras malhas	Total de Vagões TCT necessários conforme demanda	Aquisição por acréscimo de demanda	Redução por falta de demanda	Total de Vagões TCT a serem disponibilizados
12	284	67	351	7	0	351
13	291	69	360	9	0	360
14	297	70	367	7	0	367
15	262	121	383	16	0	383
16	272	122	394	11	0	394
17	281	124	405	11	0	405
18	291	126	417	12	0	417
19	301	128	429	12	0	429
20	310	130	440	11	0	440
21	329	135	464	24	0	464
22	348	140	488	24	0	488
23	367	145	512	24	0	512
24	386	150	536	24	0	536
25	405	156	561	25	0	561
26	418	159	577	16	0	577
27	430	162	592	15	0	592
28	443	165	608	16	0	608
29	455	168	623	15	0	623
30	467	171	638	15	0	638
31	477	174	651	13	0	651
32	486	177	663	12	0	663
33	495	180	675	12	0	675
34	505	183	688	13	0	688
35	514	186	700	12	0	700

Fonte: ANTT (2019)

Apresenta-se a seguir um resumo da proposta de quantitativo de material rodante a ser disponibilizado pela Subconcessionária para atendimento à demanda ao longo do período de Subconcessão.

Tabela 20: Resumo do material rodante a ser disponibilizado pela Subconcessionária

Ano	Locomotivas AC44	Vagões				
		GDT	HFT	PET	TCT	Total
6	16	1.107	238	46	42	1.433
7	22	1.533	243	46	45	1.867
8	22	1.565	249	47	47	1.908
9	25	1.831	257	47	50	2.185
10	27	1.831	14	67	336	2.248
11	28	1.899	14	70	344	2.327

Ano	Locomotivas AC44	Vagões				
		GDT	HFT	PET	TCT	Total
12	30	2.007	14	73	351	2.445
13	30	2.000	14	76	360	2.450
14	30	2.000	14	79	367	2.460
15	33	2.000	14	212	383	2.609
16	34	1.959	14	214	394	2.581
17	30	1.673	14	217	405	2.309
18	29	1.614	14	220	417	2.265
19	25	1.299	14	223	429	1.965
20	25	1.214	14	226	440	1.894
21	25	1.214	14	229	464	1.921
22	25	1.214	14	232	488	1.948
23	25	1.214	14	236	512	1.976
24	25	1.204	14	239	536	1.993
25	25	1.048	14	242	561	1.865
26	25	1.048	14	246	577	1.885
27	25	1.048	14	249	592	1.903
28	25	1.048	14	252	608	1.922
29	25	1.048	14	256	623	1.941
30	25	1.048	14	260	638	1.960
31	25	1.048	14	263	651	1.976
32	25	1.048	14	267	663	1.992
33	25	1.048	14	272	675	2.009
34	25	1.006	14	276	688	1.984
35	20	625	14	279	700	1.618

Fonte: ANTT (2019)

Os resultados consolidados de dimensionamento de frota de locomotivas e vagões, considerando quantidades necessárias para atendimento à demanda na malha da FIOI 1 e em direito de passagem, aquisições e reduções ao longo do período da Subconcessão e idade média da frota estão apresentados no Anexo XI.

4. Lista de Anexos

Anexo I:	A. FIOL - Demanda
Anexo II:	B. FIOL - Informações Técnicas
Anexo III:	C. FIOL – Definição de Trem Tipo
Anexo IV:	D. FIOL – PDT
Anexo V:	E.1 FIOL – Tempos Médios - Cenário 00 - Base
Anexo VI:	E.2 FIOL – Tempos Médios - Cenário 01 - Faseamento 01
Anexo VII:	F.1 FIOL - Cálculo Saturação - Cenário 00 - Base
Anexo VIII:	F.2 FIOL - Cálculo Saturação - Cenário 01 - Faseamento 01
Anexo IX:	G.1 FIOL - Cálculo de Frota - Trecho Proprio
Anexo X:	G.2 FIOL - Cálculo de Frota - Demais Trechos
Anexo XI:	G.3 FIOL - Cálculo de Frota - TOTAL Final