

CARLOS ÁLVARO GUIMARÃES  
GUSTAVO HENRIQUE LUCAS JAQUIE  
PAULO HENRIQUE CARDOSO MOTA

**Formatado:** Fonte: 14 pt

**Formatado:** Fonte: Não Negrito

## DESEMBARQUE ZERO PARA A VIA

### PROJETO DZV

Apresentação do projeto final como exigência para obtenção do grau de especialista em Tecnologia Metroferroviária junto à Universidade de São Paulo (USP).

SÃO PAULO  
2012

CARLOS ÁLVARO GUIMARÃES  
GUSTAVO HENRIQUE LUCAS JAQUIE  
PAULO HENRIQUE CARDOSO MOTA

## **DESEMBARQUE ZERO PARA A VIA**

### **PROJETO DZV**

Apresentação do projeto final como exigência para obtenção do grau de especialista em Tecnologia Metroferroviária junto à Universidade de São Paulo (USP)

Área de concentração: Engenharia de Transporte / Planejamento e Operação de Transportes.

Orientador:  
Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa

SÃO PAULO  
2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Guimarães, Carlos Álvaro

- **DESEMBARQUE ZERO PARA A VIA: PROJETO DZV / C.A.GUIMARÃES,**

G.H.L. Jaquie, P.H.C. Mota. -- São Paulo, 2012.  
**12018** p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metro-Ferrovária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Operações de transporte 2. Ferrovias 3. Trens urbanos  
I. Jaquie, Gustavo Henrique Lucas II. Mota, Paulo Henrique Cardoso III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia VI. t.

## AGRADECIMENTOS

A Deus quem nos deu saúde, e nos permitiu realizar este fascinante trabalho.

Às nossas famílias, que estiram o tempo todo ao nosso lado, nos apoiando nos momentos difíceis e pacientemente entenderam nossas faltas.

A Diretoria da CPTM, pela preciosa oportunidade de participar do curso de especialização em tecnologia Metro-ferroviária promovida pela conceituada e respeitada Universidade de São Paulo, da Escola Politécnica, e em especial para Evaldo Jose Dos Reis Ferreira, Francisco Pierrini, Marcio Machado, Fernando Luiz Nunes, Júlio Massayuki Sumida e a Sra. Luzia Ciola, que desde o início do curso nos forneceu todo apoio e suporte.  
e carinho.

Aos colegas de trabalho que colaboraram direta ou indiretamente, principalmente os Srs. Edilson Rezende Alferes, Emerson dos Santos Mendes, Getulio Getúlio Bulhões da Costa, Leonardo Henrique Balbino, Marcio Jose Baeza Rios, Marcos Ferreira e Yassuhiro Edson Yogi.

Ao Dr. André Riyuiti Hirakawa nosso orientador, quem nos auxiliou e nos mostrou saídas diante  
te d-as dificuldades encontradas e que foi nossa fonte de estímulos nos momentos de dúvidas e incertezas.  
incertezas.

As conversas e as discussões foram primordiais durante a magnífica e satisfatória experiência junto ao saber.

**Formatado:** Fonte: Times New Roman, Cor da fonte: Automática

**Formatado:** Fonte: Times New Roman, Cor da fonte: Automática

**Formatado:** Fonte: Times New Roman, Cor da fonte: Automática

**Formatado:** Fonte: (Padrão) Times New Roman, Cor da fonte: Automática, Verificar ortografia e gramática

**Formatado:** Fonte: (Padrão) Times New Roman, Cor da fonte: Automática, Verificar ortografia e gramática

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas, Ajustar espaçamento entre texto latino e asiático, Ajustar espaçamento entre texto e números asiáticos

## RESUMO

A CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, é formada por seis linhas, possuindo aproximadamente 270 km de extensão, com uma frota de 150 Trens. Transporta diariamente mais de 2 milhões e 870 mil usuários, realizando 2.630 viagens, o que corresponde a 83 mil quilômetros percorridos todos os dias.

Com um fluxo desta proporção, qualquer problema com desembarque de usuários para a via ocasiona grandes prejuízos a CPTM, não só financeiros, mas principalmente para a imagem da companhia perante a mídia e aos usuários deste meio de transporte.

A probabilidade de eventos desta natureza ocorrer é pequena, porém enquanto existir é uma constante ameaça aos planos estratégicos da CPTM, que vem investindo pesadamente em tecnologia e segurança. Em estudo realizado no período de janeiro de 2007 a Abril de 2012, foi verificado que ocorreram um quantitativo elevado várias de ocorrências com desembarque de usuários para a via, por consequência de falhas geradas por avaria de tração nos trens, as quais afetaram a viagem de um grande número de mais de 1.370.0000 usuários.

Formatado: Realce

Objetivando reduzir este tipo de problema, o foco deste estudo foi retirar um trem avariado do trecho em um menor tempo possível, evitando que usuários venham a descer na via e ocorra a paralisação de toda a circulação, prejudicando desta maneira milhares de usuários.

Dado o contexto, foram idealizados dispositivos e procedimento de reboque entre trens, de modo a assegurar a operação normal, com segurança e rápida aplicação e execução, permitindo que o trem com avaria seja rebocado de imediato do trecho, por outro trem que estiver mais próximo e assim evitando o caos no sistema de transporte sobre trilhos e suas notáveis consequências.

A proposta nomeada de projeto DZV (DESEMBARQUE ZERO PARA A VIA) compõe-se de um conjunto de dispositivos simples e de rápida implementação, permitindo facilidade na análise dos requisitos de segurança, com baixa probabilidade de falha e alto nível de confiabilidade e disponibilidade.

Os dispositivos inseridos operam no modo *fail safe*, seguindo os mesmos pré-requisitos de segurança do sistema de freio do trem, desde a aplicação automática em caso de falha, até a liberação do freio e a efetivação do reboque.

O procedimento sugerido não altera os princípios básicos dos métodos atuais de operação, com diferencial positivo, pois requer quantidades menores de interações dos maquinistas nos sistemas, sendo facilmente aceito pelo corpo técnico-operacional da empresa.

As implementações foram realizadas nos circuitos de freio e engate, seguidos de testes práticos, de forma a chegar ao modelo ideal, sempre eliminando qualquer possibilidade de alteração na segurança do projeto original, a qual é a premissa mais importante.

Os testes demonstraram de forma prática uma diminuição em mais de 18 vezes no tempo de realização de reboque entre trens atual praticado, o qual durava em média 8~~2~~<sup>3</sup> minutos e com o projeto DZV, dura em média 4 minutos e 35 segundos, comprovando deste modo sua eficácia, e assim, diminuindo significativamente o risco de desembarque de usuários para a via por problemas de tração nos trens.

Sendo assim, se o projeto DZV for implantado em toda a frota, não haverá necessidade de reboque por locomotiva em caso de falha de tração, minimizando a possibilidade de desembarque de usuários para a via.

Palavras chave: CPTM. Desembarque. DZV. Engate. Freio. Reboque. Trem.

## ABSTRACT

The CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, is composed by six lines, which has approximately 270km of extension and a fleet of more than 150 trains. The CPTM transports over than 2 million and 870 thousand users daily, making 2.630 daily trips, which corresponds to 83000 km traveled every day.

With this flow rate, having any kind of problems related to users landing on the tracks would cause a lot of impairment to CPTM, not only for the financial aspect but mainly to the company's image in face of the media and the train users.

The probability of such events occur is small, but as long as they exist, it is a constant threat to the strategic plans of CPTM, which is investing heavily in technology and safety.

In a study conducted from January 2007 to April 2012, it was found that there was a large quantity of occurrences of users landing on the tracks consequently of faults generated by malfunctioning train traction, which affected the trip many users, more 1.370.0000 users.

Formatado: Realce

Aiming to reduce this problem, the focus of this study is to remove the damaged train from the railroad path in less time as possible, preventing users descending on the tracks and stopping all the train circulation, thus impairing thousands of users.

In this context, devices and towing procedure between trains were idealized to ensure normal operation, with safety, fast implementation and execution, which allow the damaged train to be immediately towed by the nearest train. This would avoid chaos from happening on the railway transportation system and its remarkable consequences.

The proposed project named DZV (LANDING ZERO TO THE TRACKS) consists of a simple set of devices and of quick implementation, allowing ease on the analysis of security requirements, with low probability of failure and high level of reliability and availability.

The inserted devices operate on the fail safe mode, following the same safety prerequisites of the train's brake system, since the automatically application in case of failure, until the brake release and the activation of the trailer.

The suggested procedure does not alter the basic principles of current methods of operation; with positive differential because it requires fewer interactions from the driver in the train systems and it is easily accepted by the operational staff of the company. The implementations were done in the clutch and brake circuits, followed by practical tests in order to reach the ideal model, always eliminating any possibility of changing in the security of the original design, which is the most important premise.

The practical tests demonstrated a decrease over 18 times in the exercise time between regular train towing, which lasted on average of 8<sup>32</sup> minutes and with implementation of the project DZV it lasted on average of 4 minutes and 35 seconds, thus proving its effectiveness, and reducing significantly the risk of users landing on tracks due to trains traction problems .

Thereby, if the DZV project is implemented across the fleet, there is no need of towing by locomotive in case of failure traction, minimizing the possibility of landing users on route.

Keywords: Train. Coupling. Breaking. DVZ. Trailer. Landing. CPTM



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE VIAS DA CPTM .....	16
FIGURA 2: MAPA DO TRANSPORTE METROFERROVIÁRIO DE SÃO PAULO .....	18
FIGURA 3: OCORRÊNCIAS COM DESEMBARQUE PARA A VIA – JAN/2007 A ABR/2012 .....	21
FIGURA 4: ENGATE TIPO ANEL E PINO – CÓPIA DE [7] .....	<del>28</del> <u>27</u>
FIGURA 5: ENGATE TIPO BARRA – CÓPIA DE [8] .....	<del>29</del> <u>28</u>
FIGURA 6: ENGATE TIPO GANCHO E CORRENTE – MODIFICADO DE [9] .....	<del>30</del> <u>29</u>
FIGURA 7: ENGATE TIPO PARAFUSO – MODIFICADO DE [10] .....	<del>30</del> <u>29</u>
FIGURA 8: ENGATE TIPO TRÊS CORRENTES – INSTANTÂNEO – MODIFICADO DE [11] .....	<del>31</del> <u>30</u>
FIGURA 9: ENGATE BUCKEYE – ACOPLADO – CÓPIA DE [12] .....	<del>33</del> <u>32</u>
FIGURA 10: ENGATE TIPO SCHAFENBERG - CÓPIA DE [13] .....	<del>34</del> <u>33</u>
FIGURA 11: ENGATE AUTOMÁTICO – TREM SÉRIE 7000 .....	<del>35</del> <u>34</u>
FIGURA 12: ADAPTADOR DE ENGATE AUTOMÁTICO PARA LOCOMOTIVA .....	<del>36</del> <u>35</u>
FIGURA 13: ILUSTRAÇÃO DO ENGATE AUTOMÁTICO – CÓPIA DE [14] .....	<del>38</del> <u>37</u>
FIGURA 14: POSIÇÃO DO ENGATE AUTOMÁTICO – VISTA LATERAL – CÓPIA DE [14] .....	<del>39</del> <u>38</u>
FIGURA 15: POSIÇÃO DO ENGATE AUTOMÁTICO – VISTA FRONTAL – CÓPIA DE [14] .....	<del>39</del> <u>38</u>
FIGURA 16: DESCRIÇÃO GERAL DO ENGATE AUTOMÁTICO – CÓPIA DE [18] .....	<del>39</del> <u>38</u>
FIGURA 17: DIAGRAMA DE ABSORÇÃO DE ENERGIA – CÓPIA DE [14] .....	<del>41</del> <u>40</u>
FIGURA 18: AMORTECEDOR DE IMPACTOS – CÓPIA DE [14] .....	<del>41</del> <u>40</u>
FIGURA 19: CABEÇA DO ENGATE – FUNCIONAMENTO – MODIFICADO DE [15] .....	<del>43</del> <u>42</u>
FIGURA 20: CAIXA DE CONTATOS ELÉTRICOS – CÓPIA DE [14] .....	<del>43</del> <u>42</u>
FIGURA 21: VISTA LATERAL DE UM TUE – SÉRIE 7000 – CÓPIA DE [16] .....	<del>44</del> <u>43</u>
FIGURA 22: RETA REFERENTE AO ESFORÇO TRATOR SUPORTADO PELO ENGATE – MODIFICADO DE [14] .....	<del>47</del> <u>46</u>
FIGURA 23: PORÇÃO ELÉTRICA DO ENGATE DO TREM SÉRIE 7000 – CÓPIA DE [14] .....	<del>48</del> <u>47</u>
FIGURA 24: NÍVEIS DE FREIOS – CARRO MOTOR E CARRO REBOQUE – MODIFICADO DE [14] .....	<del>51</del> <u>50</u>
FIGURA 25: CONSOLE DE CONTROLE DE FREIO – CÓPIA DE [14] .....	<del>52</del> <u>51</u>
FIGURA 26: PAINEL DE CONTROLE DO ATCU – CÓPIA DE [14] .....	<del>52</del> <u>51</u>
FIGURA 27: GABINETES DO SISTEMA DE FREIO – CÓPIA DE [14] .....	<del>53</del> <u>52</u>
FIGURA 28: UNIDADE DE CONTROLE DE FREIO BCU – CÓPIA DE [14] .....	<del>53</del> <u>52</u>
FIGURA 29: PAINEL DE FREIO DE (B01) E PAINEL AUXILIAR DO FREIO DE ESTACIONAMENTO (B03) – CÓPIA DE [14] .....	<del>54</del> <u>53</u>
FIGURA 30: PINÇA DE FREIO – CÓPIA DE [14] .....	<del>54</del> <u>53</u>
FIGURA 31: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE EMERGÊNCIA PARTE 1-3 .....	<del>64</del> <u>63</u>
FIGURA 32: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE TRACÇÃO PARTE 1-2 .....	<del>67</del> <u>66</u>
FIGURA 33: ACOPLAMENTO DE TRENS – SÉRIE 7000 .....	<del>75</del> <u>73</u> <del>74</del>
FIGURA 34: ADAPTADOR DE ENGATE PARA LOCOMOTIVA – CÓPIA [14] .....	<del>76</del> <u>75</u>
FIGURA 35: TORNEIRA DE REBOQUE POR LOCOMOTIVA .....	<del>78</del> <u>77</u>
FIGURA 36: INSTALAÇÃO DO ADAPTADOR DE ENGATE PARA LOCOMOTIVA .....	<del>79</del> <u>77</u> <del>78</del>
FIGURA 37: DIAGRAMA BÁSICO EM BLOCOS DO SISTEMA GERAL DE FREIO .....	<del>89</del> <u>87</u> <del>88</del>
FIGURA 38: LAÇO DE EMERGÊNCIA ABERTO. ....	<del>91</del> <u>89</u>
FIGURA 39: CHAVE DE REBOQUE DZV – MODO REBOCADOR E MODO REBOCADO .....	<del>92</del> <u>90</u>
FIGURA 40: TORNEIRAS DOS ENGATES DAS CABINES LÍDERES .....	<del>93</del> <u>91</u> <del>94</del>
FIGURA 41: DIAGRAMA EM BLOCOS – M1 COMANDO ATIVO M1 – CIRCUITO DE EMERGÊNCIA MODIFICADO .....	<del>95</del> <u>92</u> <del>93</del>
FIGURA 42: DISTRIBUIÇÃO DOS ARMÁRIOS - CÓPIA DE [26] .....	<del>95</del> <u>93</u> <del>94</del>

FIGURA 43 A E B: PAINEL DO LAÇO DE EMERGÊNCIA - CARRO MOTOR E DETALHE DA INSTALAÇÃO DO RELÉ .....	<del>969</del> <u>394</u>
FIGURA 44 A E B: PAINEL DO LAÇO DE EMERGÊNCIA - CARRO REBOQUE E DETALHE DA INSTALAÇÃO DO RELÉ .....	<del>969</del> <u>4</u>
FIGURA 45 A E B: PAINEL DO LAÇO AUXILIAR - CARRO MOTOR E DETALHE DA INSTALAÇÃO DO RELÉ .....	<del>979</del> <u>495</u>
FIGURA 46 A E B: PAINEL DO LAÇO AUXILIAR - CARRO REBOQUE E DETALHE DA INSTALAÇÃO DO RELÉ .....	<del>979</del> <u>5</u>
FIGURA 47 A E B: INSTALAÇÃO DE PROTEÇÃO NA PORÇÃO ELÉTRICA E DETALHE DA PROTEÇÃO INSTALADA .....	<del>989</del> <u>596</u>
FIGURA 48 A E B: CHAVE COMUTADORA DE DUAS POSIÇÕES DZV E DETALHE DA CHAVE DZV .....	<del>989</del> <u>6</u>
FIGURA 49 A E B: CHAVE DZV - POSIÇÃO REBOCADO E POSIÇÃO REBOCADOR .....	<del>999</del> <u>697</u>
FIGURA 50: PAINEL COM A CONFIGURAÇÃO ORIGINAL .....	<del>999</del> <u>697</u>
FIGURA 51 A E B: SINALIZADOR LUMINOSO – DZV ATIVO NAS CABINES LÍDERES E DETALHE DO SINALIZADOR DZV ATIVO .....	<del>100</del> <u>97</u>
FIGURA 52: LINHAS RESERVAS DO <i>TRAIN LINE</i> .....	<del>101</del> <u>9798</u>
FIGURA 53 A E B: LINHAS RESERVAS DO <i>TRAIN LINE</i> UTILIZADAS NO PROJETO – CARRO MOTOR E CARRO REBOQUE .....	<del>101</del> <u>98</u>
FIGURA 54: GRÁFICO COMPARATIVO - TEMPO DE REBOQUE COM DESLOCAMENTO MÍNIMO .....	<del>114</del> <u>108103</u>
FIGURA 55: GRÁFICO COMPARATIVO - TEMPO DE REBOQUE IDEAL .....	<del>115</del> <u>108105</u>
FIGURA 55: TRENS VANDALIZADOS .....	<del>123</del> <u>112113</u>
FIGURA 58: DIAGRAMA EM BLOCOS – M2 – COMANDO ATIVO M1 .....	<del>124</del> <u>113114</u>
FIGURA 59: DIAGRAMA EM BLOCOS – R2 – COMANDO ATIVO M1 .....	<del>124</del> <u>113114</u>
FIGURA 60: DIAGRAMA EM BLOCOS – R1 – COMANDO ATIVO M1 .....	<del>124</del> <u>113114</u>
FIGURA 61: DIAGRAMA EM BLOCOS – M1 – COMANDO ATIVO M1 .....	<del>124</del> <u>113114</u>
FIGURA 62: DIAGRAMA EM BLOCOS M1 (CONTINUAÇÃO)– COMANDO ATIVO M1 .....	<del>125</del> <u>114115</u>
FIGURA 63: DIAGRAMA EM BLOCOS – M2 – COMANDO ATIVO M1 - CIRCUITO DE EMERGÊNCIA .....	<del>125</del> <u>114115</u>
FIGURA 64: DIAGRAMA EM BLOCOS – R2 – COMANDO ATIVO M1 - CIRCUITO DE EMERGÊNCIA .....	<del>125</del> <u>114115</u>
FIGURA 65: DIAGRAMA EM BLOCOS – R1 – COMANDO ATIVO M1 - CIRCUITO DE EMERGÊNCIA .....	<del>126</del> <u>115116</u>
FIGURA 66: DIAGRAMA EM BLOCOS – M1 – COMANDO ATIVO M1 – CIRCUITO DE EMERGÊNCIA .....	<del>126</del> <u>115116</u>
FIGURA 67: FLUXOGRAMA DE ATUAÇÃO FALHA DE BCU .....	<del>127</del> <u>116117</u>
FIGURA 68: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE EMERGÊNCIA PARTE 1-3 .....	<del>127</del> <u>116117</u>
FIGURA 69: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE EMERGÊNCIA PARTE 2-3 .....	<del>128</del> <u>117118</u>
FIGURA 70: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE EMERGÊNCIA PARTE 3-3 .....	<del>128</del> <u>117118</u>
FIGURA 71: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE TRACÇÃO PARTE 1-2 .....	<del>129</del> <u>118119</u>
FIGURA 72: FLUXOGRAMA DO LAÇO DE TRACÇÃO PARTE 2-2 .....	<del>129</del> <u>118119</u>

## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1: PASSAGEIROS AFETADOS – LINHA 9 - ESMERALDA – ANO 2011 .....	<del>23</del> <u>23</u> <del>22</del>
QUADRO 2: RESUMO GERAL – TEMPO MÉDIO DE REBOQUE E NORMALIZAÇÃO DE OCORRÊNCIAS .....	<del>25</del> <u>24</u>
QUADRO 3: TIPOS DE ENGATES NOS TRENS METROPOLITANOS – CPTM .....	<del>35</del> <u>34</u>
QUADRO 4: TIPOS DE ENGATES NAS LOCOMOTIVAS – CPTM .....	<del>36</del> <u>35</u>
QUADRO 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ENGATE AUTOMÁTICO.....	<del>40</del> <u>39</u>
QUADRO 6: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE AMORTECIMENTO .....	<del>40</del> <u>39</u>
QUADRO 7: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO AMORTECEDOR DE IMPACTOS .....	<del>41</del> <u>40</u>
QUADRO 8: PESO DOS CARROS DE UMA TUE CARREGADA.....	<del>45</del> <u>44</u>
QUADRO 9: DESCRIÇÃO DAS PINAGENS DO ENGATE – PORÇÃO ELÉTRICA .....	<del>49</del> <u>48</u>
QUADRO 10: TEMPOS DE REBOQUE – LOCOMOTIVA X TREM AVARIADO LIGADO.....	<del>77</del> <u>76</u>
QUADRO 11: TEMPOS DE REBOQUE – TREM X TREM AVARIADO DESLIGADO .....	<del>81</del> <u>79</u> <del>80</del>
QUADRO 12: TEMPOS DE REBOQUE – TREM X TREM AVARIADO LIGADO .....	<del>81</del> <u>80</u>
QUADRO 13: TEMPOS DE REBOQUE – COMPARATIVO .....	<del>82</del> <u>80</u> <del>81</del>
QUADRO 14: TEMPO DE REBOQUE – PROJETO DZV .....	<del>111</del> <u>108</u> <del>101</del>
QUADRO 15 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODOS DE REBOQUE .....	<del>112</del> <u>108</u> <del>102</del>
QUADRO 16: TEMPOS DE REBOQUE E DESLOCAMENTO IDEAL.....	<del>114</del> <u>108</u> <del>104</del>

## ABREVIATURAS, SIGLAS E GLOSSÁRIO

23K01	Relé indicador do estado das portas de acesso ao salão de passageiros – Lado direito
23K02	Relé indicador do estado das portas de acesso ao salão de passageiros – Lado esquerdo
33F01	Disjuntor do laço de emergência
AAR	Association of American Railroads
AFS	Anulação de Freio de Serviço
AP	Aviso ao Público
ATCU	Automatic Train Control Universal – Controle automático de trens universal
ATO	Automatic Train Operation – Operação automática de trens
B01	Painel de freio
B03	Painel de freio auxiliar
B03.02	Registro de isolamento de freio
B10	Registro de isolamento da TDP
B11	Registro que conecta o tubo de reboque com tubo de freio indireto da locomotiva
B15	Registro de isolamento de freio
B16	Válvula magnética de isolamento de freio
B18	Registro de transferência TFA-TDP
B37.01	Válvula de pistão utilizada no freio de emergência
B37.03	Válvula de pressão utilizada no freio de serviço
BCU	Unidade de controle de freio (Brake Control Unit)
CCO	Centro de Controle Operacional
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CN	Communication Network - Rede de comunicações de trem
COSMOS	Sistema Modular de Controle e Supervisão
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
Cv	Pressão de controle especificada
DOP	Diário Operacional
DATA BUS	Barramento responsável por transportar informações

DZV	Desembarque Zero Para Via
ED	Freio Eletrodinâmico
EP	Eletropneumático
EP-BGE-II	Denominação do sistema de freio do trem Série 7000
ETHERNET	Protocolo de intercomunicação para redes locais
HEADWAY	Intervalo entre trens
IHM	Interface Homem Máquina
IT	Instrução Técnica
LAÇO	Circuito responsável por recolher informações funcionais
LED	Light Emitting Diode - Diodo semicondutor que quando é energizado emite luz visível (diodo emissor de luz)
LOOP	Laço
M1/M2	Carro motor
METRÔ	Companhia do Metropolitano de São Paulo
MR	Material Rodante
MRP	Tubulação de ar comprimido principal
MVB	Barramento de veículo multifunção (Multifunction Vehicle Bus)
PO	Procedimento Operacional
PWM	Modulação em Largura de Pulso (Pulse Width Modulation)
R1/R2	Carro reboque
RZSSZ4	Modelo da pinça de freio trem Série 7000
SICOM	Sistema Integrado de Controle da Operação e Manutenção
STV	Entrada proveniente da válvula distribuidora
TCN	Rede de comunicações de trem (Train Communication Network)
TCU	Unidade de controle de tração (Traction Controle Unit)
TDP	Tubo de Depósitos Principais
TFA	Tubo de Freio Automático
TGV	Train à Grande Vitesse (Trem de alta velocidade)
TP	Tubo de Reboque
TRAIN LINE	Rede cabos de transmissão de dados do TUE
TREM	Formado por duas ou mais TUEs, na série 7000 é formado por duas TUEs
TUE	Trem Unidade Elétrica – composto por quatro carros na série 7000

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1. OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS OCASIONADAS POR AVARIAS .....	21
1.2. OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS – TEMPO DE RESOLUÇÃO .....	<del>25</del> 24
2. ENGATES FERROVIÁRIOS .....	<del>26</del> 25
2.1. ENGATES – HISTÓRIA E EVOLUÇÃO.....	<del>26</del> 25
2.2. TIPOS DE ENGATES .....	<del>28</del> 27
2.2.1. ENGATE TINO ANEL E PINO (MANILHA).....	<del>28</del> 27
2.2.2. ENGATE TIPO BARRA .....	<del>28</del> 27
2.2.3. ENGATE COM GANCHO E CORRENTE – TRÊS-ELOS.....	<del>29</del> 28
2.2.4. ENGATE DE PARAFUSO.....	<del>30</del> 29
2.2.5. ENGATE INSTANTÂNEO.....	<del>31</del> 30
2.2.6. ENGATE BUCKEYE.....	<del>32</del> 31
2.2.7. ENGATE AUTOMÁTICO - SCHAFENBERG .....	<del>33</del> 32
2.3. ENGATES NA CPTM.....	<del>34</del> 33
2.4. ENGATE AUTOMÁTICO – SCHAFENBERG – TRENS SÉRIE 7000 .....	<del>37</del> 36
2.4.1. ENGATE AUTOMÁTICO – DESCRIÇÃO GERAL .....	<del>37</del> 36
2.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	<del>40</del> 39
2.4.3. FUNCIONAMENTO.....	<del>42</del> 41
2.4.4. ESFORÇOS REALIZADOS NOS ENGATES NO PROJETO .....	<del>44</del> 43
2.4.5. SISTEMA ELÉTRICO .....	<del>47</del> 4647
2.4.5.1. PORÇÃO ELÉTRICA .....	<del>48</del> 47
3. FREIOS.....	<del>50</del> 49
3.1. NÍVEIS DE FREIO.....	<del>50</del> 49
3.2. FREIO DE SERVIÇO ELETROPNEUMÁTICO.....	<del>55</del> 54
3.2.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE SERVIÇO.....	<del>55</del> 54
3.3. FREIO DE EMERGÊNCIA.....	<del>56</del> 55
3.3.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE EMERGÊNCIA.....	<del>57</del> 56
3.4. FREIO DE ESTACIONAMENTO .....	<del>57</del> 56
3.4.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE ESTACIONAMENTO .....	<del>57</del> 56
3.5. FREIO DE REBOQUE.....	<del>58</del> 57
3.5.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE REBOQUE POR LOCOMOTIVA.....	<del>59</del> 58
3.6. FREIO DINÂMICO.....	<del>60</del> 59

3.7.	SISTEMA PNEUMÁTICO .....	<del>60</del> 59
3.7.1.	AR COMPRIMIDO .....	<del>61</del> 60
4.	DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA .....	<del>62</del> 61
4.1.	LAÇO DE EMERGÊNCIA .....	<del>62</del> 61
4.1.1.	TESTE DO LAÇO DE EMERGÊNCIA .....	<del>64</del> 63
4.2.	LAÇO DE TRACÇÃO .....	<del>65</del> 64
4.3.	SISTEMA DE CONDUÇÃO DEGRADADO (MODO SOCORRO) .....	<del>67</del> 66
5.	REBOQUE DE TRENS .....	<del>69</del> 68
5.1.	REBOQUE NA CPTM .....	<del>69</del> 68
5.1.1.	REBOQUE DE TREM COM TREM .....	<del>69</del> 68
5.2.	REBOQUE EM OUTRAS EMPRESAS BRASILEIRAS .....	<del>72</del> 71
5.3.	SISTEMÁTICA ATUAL DE REBOQUE SERIE 7000 .....	<del>74</del> 73
5.3.1.	REBOQUE TREM COM TREM SEM BATERIA .....	<del>74</del> 73
5.3.2.	REBOQUE TREM COM TREM COM BATERIA .....	<del>75</del> 74
5.3.3.	REBOQUE COM LOCOMOTIVA – TREM SÉRIE 7000 .....	<del>76</del> 75
5.3.3.1.	REBOQUE COM LOCOMOTIVA - TREM LIGADO .....	<del>79</del> 78
5.3.3.2.	REBOQUE COM LOCOMOTIVA - TREM DESLIGADO .....	<del>80</del> 78
5.4.	TESTES DE REBOQUE ENTRE TRENS – MÉTODO ATUAL .....	<del>80</del> 79
5.4.1.	RESULTADOS DA METODOLOGIA ATUAL DE REBOQUE TREM COM TREM..	<del>80</del> 79
5.5.	COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS DIFERENTES TIPOS DE REBOQUES	<del>82</del> 80
6.	ELABORAÇÃO DO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA – PROJETO DZV .....	<del>84</del> 82
6.1.	ESTUDO DE CASO DA SISTEMÁTICA DE REBOQUE ATUAL .....	<del>84</del> 82
6.2.	REQUISITOS DO PROJETO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA .....	<del>87</del> 8584
6.3.	SÍNTESE DO PROJETO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA .....	<del>89</del> 87
6.4.	DISPOSITIVOS IMPLEMENTADOS .....	<del>95</del> 93
6.5.	NOVO PROCEDIMENTO OPERACIONAL PROPOSTO .....	<del>101</del> 9899
6.6.	TESTE REAL CONTROLADO .....	<del>111</del> 108101
6.7.	ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	<del>112</del> 108101
6.8.	CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO .....	<del>116</del> 108105
7.	CONCLUSÃO .....	<del>117</del> 108107
8.	TRABALHOS FUTUROS .....	<del>119</del> 108109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	<del>120</del> 109110
	ANEXOS .....	<del>123</del> 112113
	ANEXO I – REPORTAGENS / NOTÍCIAS .....	<del>123</del> 112113

DESEMBARQUE DE USUÁRIOS PARA A VIA E VANDALISMO EM TRENS .	<del>123</del> <del>112</del> <del>113</del>
ANEXO II – DIGRAMA EM BLOCOS – LAÇO DE EMERGÊNCIA.....	<del>124</del> <del>113</del> <del>114</del>
ANEXO III – FLUXOGRAMA DE ATUAÇÃO EM AVARIA DE TRAÇÃO EM TRENS DA SÉRIE 7000 .....	<del>127</del> <del>116</del> <del>117</del>



## 1. INTRODUÇÃO

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) foi fundada em 28 de maio de 1992, oriunda de ferrovias com mais de um século de existência. Transporta todos os dias mais de 2 milhões e 870 mil usuários, percorrendo mais que duas voltas em torno da Terra<sup>1</sup>. Com aproximadamente 270 quilômetros de malha e 89 estações divididas em suas seis linhas (7, 8, 9, 10, 11 e 12), está presente em 22 municípios, sendo 19 na Região Metropolitana de São Paulo, incluindo a capital paulista. A figura 1 ilustra o mapa de linha da CPTM.

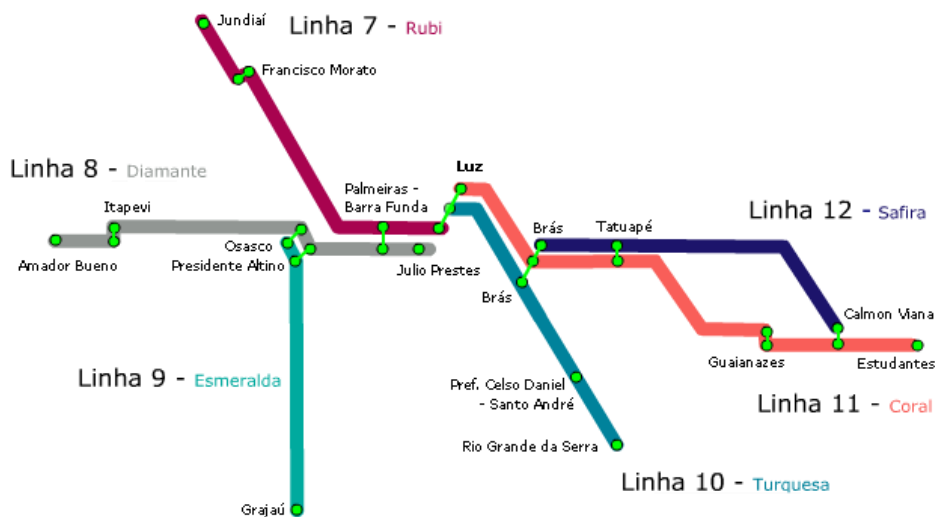


Figura 1: Mapa de vias da CPTM.

### Características das linhas:

#### LINHA 7 – RUBI (Luz a Jundiaí)

- Quantidade de Estações: 18
- Extensão: 60,5 quilômetros
- Estações de integração com o Metrô: Luz e Barra Funda.
- Usuários transportados/dia útil: 458.000

<sup>1</sup> Circunferência da Terra – 40.075 km

#### LINHA 8 – DIAMANTE (Júlio Prestes a Itapevi)

- Quantidade de ~~E~~estações: 20
- Extensão: 35,28 quilômetros
- Estações de ~~i~~ntegração com o Metrô: Barra Funda.
- Usuários transportados/dia útil: 508.000

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

#### LINHA 9 – ESMERALDA (Grajá a Osasco)

- Quantidade de ~~E~~estações: 18
- Extensão: 31,8~~452~~ quilômetros
- Estações de ~~i~~ntegração com o Metrô: Santo Amaro e Pinheiros
- Usuários transportados/dia útil: 552.000

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

#### LINHA 10 – TURQUESA (Brás a Rio Grande da Serra)

- Quantidade de ~~E~~estações: 13
- Extensão: 34,960 ~~quilômetros~~
- Estações de ~~i~~ntegração com o Metrô: Brás e Tamanduateí.
- Usuários transportados/dia útil: 445.000

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

#### LINHA 11 – CORAL (Luz a Estudantes)

- Quantidade de ~~E~~estações: 16
- Extensão: 50,844 ~~quilômetros~~
- Estações de ~~i~~ntegração com o Metrô: Luz, Brás, Tatuapé e Corinthians-Itaquera
- Usuários transportados/dia: 670.000

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

#### LINHA 12 – SAFIRA (Brás a Calmon Viana)

- Quantidade de ~~E~~estações: 13
- Extensão: 38,822 ~~quilômetros Km~~
- Estações de ~~i~~ntegração com o Metrô: Calmon Vianna; Tatuapé e ~~Brás~~~~Brás.~~
- ~~Usuários transportados/dia: 241.000~~

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

**Formatado:** Espaço Depois de: Automático, Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin.

**Formatado:** Espaço Antes: Automático, Espaçamento entre linhas: Múltiplos 1,15 lin., Com marcadores + Nível: 1 + Alinhado em: 0,63 cm + Recuar em: 1,27 cm, Tabulações: Não em 15,24 cm

A Figura 2 mostra o mapa do sistema metro-ferroviário de São Paulo (metrô e CPTM).



**Figura 2: Mapa do transporte Metroferroviário de São Paulo.**

A primeira ferrovia pública de passageiros e cargas do mundo foi construída na Inglaterra, por George Stephenson no ano 1825. Essa ferrovia possuía uma extensão de 32 quilômetros entre Stockton e Darlington [3]. O primeiro trem possuía pouco mais de 15 vagões entre carros de passageiros e vagões de cargas, pesando aproximadamente 60 toneladas, levando 7 horas de percurso. Para que a locomotiva movida a vapor pudesse rebocá-lo, foi necessária a criação de um sistema de acoplamento entre eles, surgindo então o primeiro modelo de engate ferroviário do mundo.

Um engate ferroviário tem a finalidade de acoplar uma locomotiva ou carro motor aos vagões, a outros carros motores ou carros reboque, os quais possuem esta denominação, pois são rebocados, assim, possibilitando o reboque entre dois trens.

Para realização de um reboque entre trens, é necessária a verificação das condições do trem avariado, ou seja, se este pode ser rebocado com segurança; também do trem rebocador, se

este possui os requisitos (equipamentos) necessários para rebocar um trem, conforme procedimento operacional da CPTM [4].

Quando ocorre uma falha mecânica em um trem metropolitano, com usuários, esta é considerada como uma falha grave, sendo ainda mais crítica quando ocorre entre estações, ou seja, fora da região da plataforma, o que demanda a realização do reboque do trem avariado de forma muito rápida e segura.

Para a realização do reboque do trem avariado, além da compatibilidade dos dispositivos de engates, outro requisito muito importante é o sistema de freio, o qual é responsável pela frenagem e a segurança do trem. Este sistema é baseado no princípio de falha segura, ou seja, na menor possibilidade de falha durante a realização do reboque, que pode ser ocasionada, por exemplo, por um desacoplamento acidental, o sistema atua de imediato no trem, realizando a frenagem do trem rebocado e do trem rebocador.

Atualmente o método de reboque de um trem avariado é bastante demorado, e em muitos casos quando a avaria ocorre no meio do trecho (entre as estações), alguns usuários mal intencionados vandalizam as portas dos trens e descem no leito da via férrea, forçando os demais usuários a também caminhar sobre os trilhos, colocando em risco a segurança de todo o sistema. Por questões de segurança, quando existem usuários andando no leito ferroviário, a circulação de trens é imediatamente interrompida na região na qual ocorreu a avaria, aumentando ainda mais os prejuízos operacionais.

Quando ocorre um desembarque para a via férrea, os impactos são rapidamente sentidos em outras linhas da CPTM, além de refletir no aumento da demanda de usuários nas linhas do Metrô de São Paulo e no sistema de transporte de ônibus (EMTU e/ou SPTRANS).

Conforme relatos veiculados pela mídia, alguns eventos tiveram grandes repercussões, como exemplo citado no anexo 1 [5]. Também foram registrados casos de vandalismos em trens e até em estações motivados por avarias de trens no trecho (vide anexo 1) [6]. Estes eventos, além de gerar grandes prejuízos ao bem público, também atuam de forma negativa na imagem da companhia.

A proposta deste trabalho foi desenvolver um dispositivo, que regido por regras e procedimentos bem definidos, possibilite a realização de reboque entre trens, de forma rápida e com toda a segurança necessária. Isto possibilita a efetivação do reboque do trem avariado para a estação mais próxima e assim permite o desembarque dos usuários em plataforma,

para que estes sejam baldeados para outro trem sem avaria, de forma segura e com o menor impacto possível, e então continuar a viagem ao destino planejado.

Atualmente é possível efetuar um reboque de um trem da série 7000 avariado com usuários, por outro trem da mesma série, porém, o trem a ser rebocado deve ser completamente desligado, ocasionando paralisação no sistema de ar condicionando, sonorização e iluminação, e por dispendir muito tempo no atual processo de reboque, muitas vezes, alguns usuários mal intencionados, mesmo com insistentes avisos do maquinista aos usuários que estão dentro do trem avariado para aguardar a normalização, não aguardam a finalização do procedimento de reboque, vandalizam as portas do trem e descem a via, gerando o caos na circulação descrito anteriormente. Estas situações além de gerar grandes prejuízos materiais, que são agravadas quando ocorrem vandalismos dos equipamentos, também prejudica a imagem da empresa, gerando grande impacto negativo perante a mídia.

Com isso, o projeto DZV quando implantado em toda a frota compatível da companhia, irá possibilitar a realização de um reboque rápido e de forma segura, diminuindo a níveis mínimos as ocorrências com desembarque de usuários para as vias férreas ocasionadas por avaria de material rodante, evitando muitos transtornos e transmitindo mais confiança aos usuários.

### 1.1. OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS OCASIONADAS POR AVARIAS

Para ilustrar melhor os problemas gerados por ocorrências de avaria de tração nos trens com desembarque de usuários para a via, foi realizada pesquisa no banco de dados da CPTM, chamado de SICOM [\[1\]](#), no qual estão armazenadas informações referentes às ocorrências operacionais e falhas ocorridas na CPTM, desde 2002 até os dias atuais.

A pesquisa foi realizada no período de 01 de janeiro de 2007 até o dia 30 de abril de 2012, sendo analisados todos os registros de ocorrências por avaria de tração nos trens, com necessidade de reboque e desembarque de usuários para a via férrea. Destas ocorrências, foi possível verificar que ~~aproximadamente 1.370.000~~[muitos](#) usuários transportados foram afetados de forma direta ou indireta por estas avarias, sejam com pequenos atrasos ou até mesmo com necessidade de caminhar sobre o leito ferroviário. A figura 3 mostra o gráfico comparativo do percentual de ocorrências pelo percentual de passageiros afetados, por cada linha da CPTM.

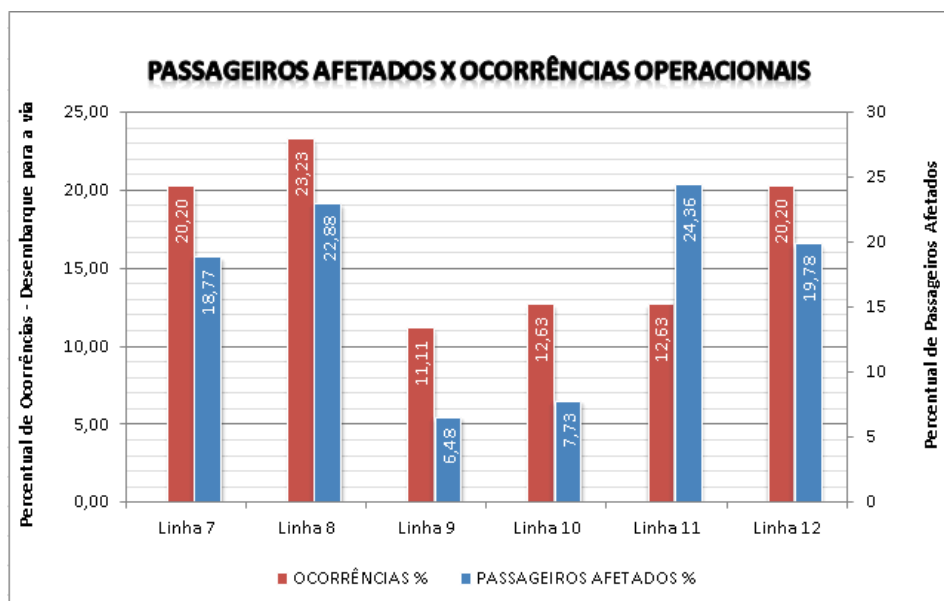


Figura 3: Ocorrências com desembarque para a via – Jan/2007 a Abr/2012.

Transformando os prejuízos em receita, ~~pode-se estimar-se chegar~~[ao valor aproximado de R\\$ 2.115.000,00, mais de dois milhões de Reais](#), o qual foi obtido da multiplicação do valor da passagem pela proporção de usuários afetados por ocorrências com desembarque de usuários

para a via, ocasionadas por avaria de tração nos trens, sendo considerando um fator de correção entre passageiros pagantes e passageiros transportados neste período. O fator de correção foi necessário pois existe grande diferença entre passageiros transportados e passageiros pagantes (esta diferença será explicada a seguir).

A metodologia aplicada neste cálculo foi baseada na quantidade de passageiros afetados pelas ocorrências em cada linha, aplicando o fator de correção, que faz a comparação entre passageiros transportados e passageiros pagantes, e através deste fator, foi calculada a receita, sendo levado em consideração o valor vigente da tarifa na data de cada ocorrência.

Os tipos de embarques da CPTM são identificados conforme abaixo:

- ✓ **PASSEGEIROS PAGANTES:** Quantidade de usuários que adentram no sistema, no período considerado, mediante o pagamento do acesso - não incluindo as transferências livres entre modais (CPTM ↔ METRÔ).
- ✓ **GRATUIDADE** - Quantidade de usuários que adentram gratuitamente no sistema, no período considerado, mediante apresentação de documento legal. Por exemplo: Policial Militar (fardado), Idosos, Portador de Deficiência, Empregado da CPTM e Metrô, Trabalhador Desempregado, Menor de cinco anos de idade, entre outros.
- ✓ **TRANSFERÊNCIA EXTERNA LIVRE INTERMODAL** - Quantidade de usuários que adentram no sistema, no período considerado, através de transferência livre entre os modos (CPTM ↔ METRÔ) quantificado pela linha de bloqueios.
- ✓ **TRANSFERÊNCIA INTERNA** - Quantidade de usuários que se transferem entre as linhas da CPTM, no período considerado.
- ✓ **TRANSPORTADOS:** Quantidade de usuários Pagantes + Gratuidade + Transferência Externa Livre + Transferência Interna

Obs.: Não está considerada a evasão de renda.

O quadro 1 a seguir mostra um exemplo da metodologia aplicada no cálculo da arrecadação ocasionada por ocorrência operacional, de acordo com a quantidade de passageiros afetados em cada ocorrência.

Quadro 1: Passageiros Afetados: Linha 9 - Esmeralda – Ano 2011.

LINHA 09 - ESMERALDA							
ANO	MÊS	VALOR DA TARIFA	MÉDIA PASSAGEIROS TRANSPORTADOS	MÉDIA PAGANTES	FATOR DE CORREÇÃO	PASSAGEIROS AFETADOS	ARRECADAÇÃO
2011	Janeiro	R\$ 2,65	262.019	177.514	67,75%	-	-
	Fevereiro	R\$ 2,90	305.746	206.353	67,49%	-	-
	Março	R\$ 2,90	317.037	212.981	67,18%	-	-
	Abril	R\$ 2,90	333.607	224.431	67,27%	-	-
	Maio	R\$ 2,90	335.925	227.385	67,69%	4208	R\$ 8.260,25
	Junho	R\$ 2,90	316.058	208.970	66,12%	-	-
	Julho	R\$ 2,90	351.560	216.451	61,57%	-	-
	Agosto	R\$ 2,90	384.075	232.405	60,51%	-	-
	Setembro	R\$ 2,90	411.235	241.074	58,62%	-	-
	Outubro	R\$ 2,90	452.796	253.125	55,90%	-	-
	Novembro	R\$ 2,90	465.894	259.986	55,80%	-	-
	Dezembro	R\$ 2,90	437.875	238.225	54,40%	-	-
SUBTOTAL:			4.373.827	2.698.900	61,71%	4208	R\$ 8.260,25

No quadro 1, por exemplo, pode-se verificar que no mês de maio de 2011, houve uma ou mais ocorrências com desembarque de usuários para a via, afetando 4.208 usuários. O fator de correção de 67,69% foi obtido da relação entre passageiros pagantes e passageiros transportados. Aplicando o fator de correção na quantidade de passageiros afetados, chegou-se ao valor R\$ 8.260,25, apenas-na para Linha 9 – Esmeralda no ano de 2011.

O mesmo cálculo foi realizado para todas as ocorrências com desembarque para via no período estudado (01/01/2007 a 30/04/2012), o qual foi obtido o valor da ordem de dois milhões de prejuízo ao sistema.

Neste trabalho não foram contemplados estudos referentes aos danos em bens patrimoniais, porém pode ser exemplificada a quebra de um vidro de para-brisa de um trem por ato de vandalismo em decorrência de avaria de um trem no trecho: o valor de mercado de um para-brisa do trem da série 7000 em abril de 2012 é em torno de R\$ 5.500,00, a mão de obra para troca custa por volta de R\$ 11.000,00, e ainda, quando é efetuada a troca de um para-brisa, o trem necessita ficar parado para cura da cola do vidro por no mínimo 8 horas. Considerando uma linha com tempo de viagem de 1 hora de duração (trecho médio da CPTM), este trem poderia realizar 7 viagens (descontado o tempo de manobra e o tempo de deslocamento interno na oficina), sendo que sua capacidade de transporte é de 2000 passageiros. Portanto, em valores (absolutos), se considerada a tarifa de abril de 2012 e o coeficiente entre passageiros transportados e pagantes de 60%, de forma bem simplória pode-se dizer que este trem deixou de arrecadar em torno de R\$ 25.200,00, no período em que ocorre a secagem da



cola do para-brisa. Totalizando estes valores, chega-se a um montante de R\$ 41.700,00, ocasionado por um ato de vandalismo de um para-brisa de um único trem.

## 1.2. OCORRÊNCIAS OPERACIONAIS – TEMPO DE RESOLUÇÃO

A partir do mesmo banco de dados citado no item anterior (SICOM), também é possível levantar todos os intervalos de tempos em que foram resolvidas as ocorrências, bem como os tempos para as realizações dos reboques, ou seja, quando o trem avariado livra o trecho, normalizando a circulação. Estas informações são inseridas em tempo real pelo Centro de Controle Operacional (CCO) no sistema SICOM [2].

Com estes dados, foi possível levantar todos os tempos reais dos reboques e tempo de normalização das ocorrências, as quais foram tabuladas, e então pela média, foi possível verificar o tempo médio de reboque e tempo médio de normalização de ocorrência, por linha e também a média geral da CPTM, considerando todas as ocorrências com desembarque de usuários para a via ocasionadas por falhas de tração nos trens, pesquisados no período de 01/01/2007 a 30/04/2012. As informações estão apresentadas no quadro 2, a seguir.

Quadro 2: Resumo Geral – Tempo médio de reboque e normalização de ocorrências.

CPTM - 01/01/2007 A 30/04/2012							
	LINHA 7	LINHA 8	LINHA 9	LINHA 10	LINHA 11	LINHA 12	MÉDIA
Tempo médio de reboque	1:48:29	1:57:21	0:58:45	1:01:00	1:18:29	1:09:34	1:22:16
Tempo médio de normalização	2:08:30	1:52:28	1:22:30	1:05:07	1:16:00	1:11:56	1:29:25

O tempo médio atual para a realização de reboque de um trem avariado na CPTM é de 1 hora e 22 minutos e de 1 hora e 29 minutos na média para a normalização da circulação de trens.

Nos capítulos futuros serão apresentados os principais dispositivos envolvidos no escopo do projeto. O capítulo 2 apresenta os engates ferroviários, o capítulo 3 retrata o sistema de freios, no capítulo 4, serão vistos os dispositivos de segurança, e por fim, o capítulo 5 trata de reboque de trem.

**Formatado:** Normal, À esquerda,  
Espaço Depois de: 0 pt, Espaçamento  
entre linhas: simples

## 2. ENGATES FERROVIÁRIOS

Os dispositivos de engates são um dos componentes mais importantes na realização do reboque entre trens, pois, através deles é possível realizar o acoplamento de um trem ou locomotiva a um trem avariado ou a uma locomotiva avariada. Nos próximos itens e subitens serão abordados mais sobre este importante dispositivo.

### 2.1. ENGATES – HISTÓRIA E EVOLUÇÃO

Sistemas de engates são tão antigos quanto às ferrovias, datados do século XIX, inicialmente eram muito arcaicos e não possuíam mecanismos de rápida aplicação (conexão), sendo necessários grandes esforços humanos para realizar o acoplamento entre vagões e locomotivas.

Engates são utilizados em vários meios de transporte, desde carruagens, datadas do século XIV, passando por sistemas rodoviários modernos e até sistemas com alto nível de sofisticação, como os trens de alta velocidade, como por exemplo, o *Train à Grande Vitesse* (TGV) francês.

Por muito tempo o engate foi um dos grandes vilões das ferrovias, pois ocasionava muitos acidentes com graves ferimentos e até mortes.

Durante a movimentação dos veículos (locomotivas e vagões) que formam o trem, uns transmitem aos outros diferentes esforços de tração e compressão, devido às mudanças de velocidade (aceleração, frenagem). Para que não haja choques violentos, é necessária a utilização de sistemas elásticos, para amortecer os esforços.

Estes sistemas elásticos podem ser distintos e separados, caso específico do material rodante (trem) europeu, ou conjuntos com o sistema de engate, este último tipo chama-se Aparelho de Choque e Tração, adotado nos Estados Unidos e também no Brasil (engate central automático). A evolução do sistema de engate está intimamente ligada ao desenvolvimento tecnológico da construção de vagões, principalmente no que se refere à capacidade de transporte.

Os primeiros vagões eram pequenos e transportavam pouca carga, por isso usavam corrente e para-choques como sistema de engate.

Por volta de 1830, iniciou-se a grande diferenciação no desenho do material rodante americano e europeu, quando foi iniciado o uso de carros de passageiros de oito rodas, substituindo os eixos simples pelos truques. Com a evolução dos vagões, para transportarem cada vez maior volume de carga, os engates não poderiam deixar também de evoluir. Em 1870, tinham capacidade para 20 toneladas, caixa dupla de madeira com vigamento e reforço interno, sistema de engate por argola e pino, freio manual, truque de barras e infraestrutura em madeira com tirantes em aço. Com sua evolução nos anos seguintes, os vagões foram ganhando em capacidade, e o sistema de engate passou a ser do tipo corrente e pino.

Já em 1878, nos EUA, foi criado um novo sistema de engate de vagões e locomotivas, criado por um veterano da guerra civil dos EUA, chamado Eli Janney, que queria encontrar um substituto para os engates da época, que eram conhecidos como engates de ligação ou acopladores de pinos, os quais ocasionavam muitos ferimentos e até mortes em todo o mundo, devido a sua complexidade no acoplamento entre carros, pelo peso e tamanho grande. Com automatismos suficientes para evitar acidentes, a invenção foi batizada como engate Buckeye, sendo difundida para o resto do mundo. Este mecanismo é até hoje a base dos engates modernos.

Com a virada do século, veio a época de maior evolução dos vagões e consequentemente dos engates, com o desenvolvimento do freio a ar por George Westinghouse, truques fundidos em aço, infraestrutura com vigamento e reforços em aço, e o engate moderno, baseado no desenho de Eli Janney, basicamente o engate atual, não acrescido de automatismos.

Com estas inovações, os vagões passaram a ter capacidade para grandes cargas, com capacidade de até 40 toneladas, e os engates foram evoluindo cada vez mais.

Os vagões do pós-guerra (1946), de 12 metros de comprimento, eram totalmente em chaparia rebitada (aço), com capacidade para 50 toneladas, e abriram caminho para os vagões de chaparia soldada, os engates utilizados já eram do tipo Engate Buckeye, modelo ainda em uso em muitos lugares do mundo.

Atualmente as ferrovias brasileiras usam o Aparelho de Choque e Tração (engate central automático) do tipo Schafenberg, porém ainda podem ser facilmente encontrados engates do tipo Buckeye em diversas ferrovias de carga e passageiros, espalhados pelo Brasil.

## 2.2. TIPOS DE ENGATES

Conforme visto, existem diversos tipos de engates ferroviários espalhados ao redor mundo, cada qual com características específicas, de acordo com a região, tipos de cargas e material rodante (trem), porém os padrões mais comuns são o americano e o europeu.

Serão mostrados alguns exemplos a seguir.

### 2.2.1. Engate Tino Anel e Pino (manilha)

É um dos primeiros tipos de engates Ferroviários adotados em grande escala, principalmente por ser um modelo bastante simples. Foi muito usado em ferrovias no século XIX, e tem persistido em algumas linhas remotas até os dias de hoje. Cada vagão tem uma barra central, com um sistema de amortecimento de molas, ligada na sua extremidade. Na outra extremidade da barra (externa ao vagão), existe espaço para inserção de um anel com orifício central. Cada engate possui uma manilha em torno da extremidade da barra para auxiliar na orientação do anel, no furo apropriado. O anel é alinhado de modo a permitir que um pino de cada vagão passe entre ele, e assim poder engatar os vagões.

Na figura 4, é possível ver como o modelo original funcionava.



**Figura 44:** Engate Tipo Anel e Pino – Cópia de [7].

**Formatado:** Fonte: Times New Roman, 10 pt, Negrito, Não verificar ortografia ou gramática

### 2.2.2. Engate Tipo Barra

O engate tipo barra também é conhecido como engate semipermanente. Ele não pode ser desconectado, a menos que seja em uma oficina e exista acesso por baixo do trem. É normalmente utilizado para manter formações fixas de dois ou mais vagões. Os engates do tipo

barra são localizados dentro do trem, enquanto nas extremidades dos trens existem outros tipos de engates que permitem o acoplamento a outros carros.

Estes engates são simples, apenas constituído por uma barra com um orifício nas extremidades interiores, por meio da qual a estrutura do carro está ligada por parafusos. A figura 5 mostra dois carros acoplados por um engate tipo barra.



Figura 5: Engate Tipo Barra – Cópia de [8].

### 2.2.3. Engate com Gancho e Corrente – Três-Elos

Este tipo de engate é formado por um conjunto de três correntes interligadas em ganchos em cada carro (vagão). Em cada extremidade do carro existe um gancho de tração e um acoplamento, interligando as três correntes (elos). Geralmente existe um sistema de amortecimento em cada carro, para evitar o choque entre os mesmos.

Neste tipo de engate sempre haverá ~~uma certa~~ folga no acoplamento, pois os carros podem circular livremente no meio do acoplamento, e isso resulta em um ruído estridente, quando um trem acelera ou freia, mesmo que equipados com amortecedores de alta qualidade.

Este tipo de engate foi muito comum nas ferrovias iniciais. Hoje, o engate Três-Elos é encontrado em vagões de carga mais antigos.

Na figura 6 é ilustrado um acoplamento do tipo gancho e corrente (Três-Elos), com sistema de amortecedor.



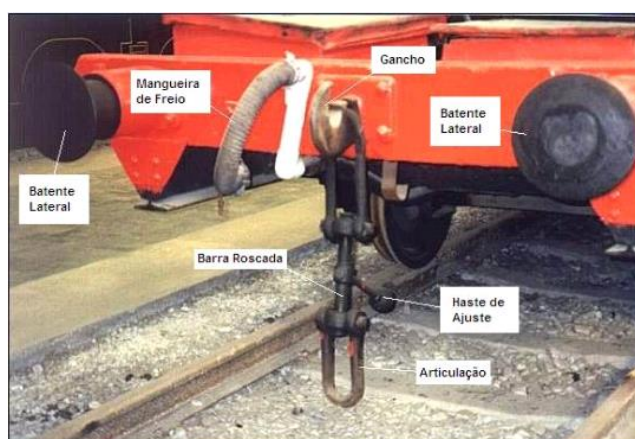
**Figura 6: Engate Tipo Três-Elos – Modificado de [9].**

Para realizar o acoplamento entre os carros, é necessário uma pessoa descer na faixa ferroviária e engatar a corrente a los ganchos dos vagões entre os dois carros.

#### 2.2.4. Engate Tipo Parafuso

É um desenvolvimento do engate Três-Elos, na qual a ligação do meio é substituída por um parafuso. O parafuso é usado para apertar o acoplamento entre os dois carros, de modo a fornecer amortecimento por meio da compressão dos tampões de choque.

A figura 7 mostra um típico engate parafuso na posição desacoplado.



**Figura 7: Engate tipo Parafuso – Modificado de [10].**

A folga no acoplamento é ajustada conforme o parafuso é rosqueado. A barra de ajuste, ou parafuso, é pesada de modo a sempre forçar o engate para baixo. Quando o parafuso é apertado suficientemente, os dois carros somente serão tocados pela barra de amortecimento de cada carro (vagão).

Todo o trabalho envolvido na ligação dos dois carros é realizado manualmente. Este é um trabalho árduo e às vezes perigoso. Ainda é comum em ferrovias de carga antigas da Europa.

#### 2.2.5. Engate Instantâneo

Outro desenvolvimento do engate tipo gancho e correntes ou Três-Elos é o engate “Instantâneo”, que tem uma ligação de ferro fundido em forma triangular, permitindo que a distância entre os carros (geralmente grande) possa ser ajustada, e assim os tampões laterais usados com o engate sejam adjacentes, proporcionando certo grau de amortecimento, que pode variar de acordo com o perfil da via a ser percorrida, principalmente pelo fato dos raios das curvas serem muito variáveis.

Ao invés de uma ligação no centro ou um parafuso roscado ajustável, a ligação do meio é feita por uma peça em aço forjado, com forma triangular, e na parte interna possui formato de fechadura, permitindo assim que a distância entre os veículos possa ser ajustada, de acordo com o perfil da via e o grau de amortecimento.

A figura 8 mostra o engate instantâneo desengatado.



Figura 8: Engate Instantâneo – Modificado de [11].

Engates instantâneos são mais comuns em vagões de carga.



Neste caso, também é necessário que um manobrador desça na via e efetue ligação das correntes entre os carros.

#### 2.2.6. Engate Buckeye

É o engate mais comum em todo o mundo, também é conhecido como "junta" ou "Janney". É um engate mecânico automático, de um projeto originário dos EUA e comumente usado em outros países, tanto para transporte de cargas, quanto para passageiros. É o padrão no Reino Unido para transporte de passageiros e trens de carga mais modernos.

Inventado em 1879 por um veterano da guerra civil americana, chamado Eli Janney, que queria encontrar um substituto para os engates da época que eram dos tipos corrente, anel e pino. Os engates atuais da época com pino ou corrente, provocavam muitos ferimentos. A invenção de Janney minimizou esse tipo de problema, sendo levado a linha de produção. O dispositivo se tornou padrão, quando o engate de anel e pino foi proibido pelo governo americano em 1900.

Ao invés de usar ligações parafusadas, o acoplamento Buckeye é simples, sendo composto de quatro partes principais: a cabeça do acoplador, fabricada em aço, uma mandíbula articulada ou "junta", o pino da dobradiça, sobre o qual gira a junta durante o processo de acoplamento ou desacoplamento e um pino de travamento da junta. Quando os dois carros se juntam, as mandíbulas dos dois engates Buckeyes se unem e os carros (vagões) ficam acoplados.

Para acoplar os carros, as juntas devem estar abertas. Quando os dois carros são empurrados, as articulações dos dois acopladores se estreitam uma sobre a outra e são bloqueadas por trás, pelo pino vertical de travamento das juntas. Para desacoplar, um dos pinos deve ser puxado para cima, de modo a soltar o bloco de travamento da junta. Isso é feito pela ativação de uma alavanca do lado externo do carro, permitindo que as mandíbulas se abram.

A figura 9 mostra um engate Buckeye na posição acoplado.



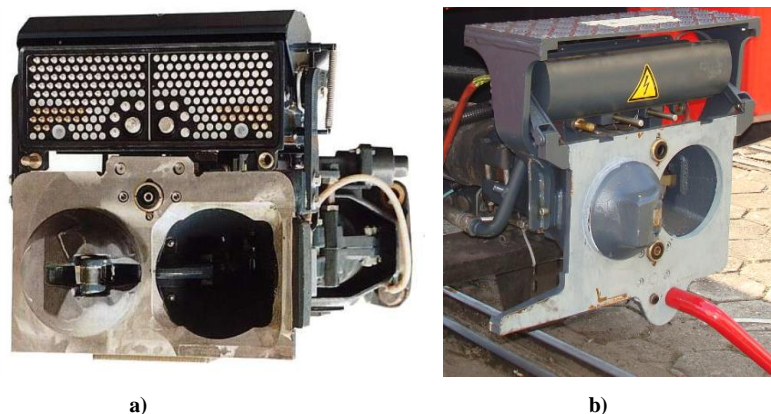
**Figura 9: Engate Buckeye – Acoplado – Cópia de [12].**

#### 2.2.7. Engate Automático - Schafenberg

O engate Schafenberg, também conhecido como engate totalmente automático, ligam os carros mecanicamente, eletricamente e pneumaticamente, de forma simples, apenas encostando-os, em seguida operando um botão ou pedal interno na cabine, para completar a operação. O desacoplamento é feito por outro botão ou pedal, para desligar os contatos elétricos, a conexão pneumática e desacoplar o engate mecanicamente. Os contatos elétricos montados sob o acoplador mecânico são protegidos por uma tampa quando em modo desacoplado.

Engates automáticos são complexos e necessitam de muitos cuidados de manutenção, devendo ser usados com frequência, para mantê-los em boas condições de funcionamento. Atualmente, muitas ferrovias no mundo estão migrando para utilização deste tipo de engate. Por isto há uma gama de modelos diferentes em uso, porém todos os modelos possuem o mesmo princípio de funcionamento.

Na figura 10, estão ilustrados dois modelos diferentes de engates automáticos, um deles com a tampa dos contatos elétricos aberto, e no outro, com a tampa fechada.



**Figura 10: Engate Tipo Automático Schafenberg – a) porção elétrica aberta Cópia de [13] e e b) porção elétrica fechada.**

O Schafenberg é um projeto amplamente utilizado em diversos tipos de ferrovias europeias, desde trens de alta velocidade até para veículos leves sobre trilhos. Este é o engate alvo deste estudo, e será mais detalhado no item 2.4.

### 2.3. ENGATES NA CPTM

Na CPTM existem diferentes tipos de engates ferroviários, que variam de acordo com a série de trens e locomotivas, porém o engate padrão adotado para os novos trens é o engate do tipo Automático, do fabricante Schafenberg, este também é o adotado como padrão na Europa. Nos trens da série 7000, alvo deste trabalho, é utilizado o engate tipo automático - Schafenberg.

A escolha do estudo desta série de trens e consequentemente do engate tipo automático, é justificada, pois, a frota operacional atual (outubro de 2012) da CPTM é de 130 trens em circulação no horário de maior carregamento, sendo que existem 48 trens da série 7000 e 7500 (compatíveis), 36 trens da série 8000 e 9 trens da série 9000, que serão todos entregues até o final de 2013, os quais possuem o mesmo tipo de engate. Além disso, até o final de 2014 serão adquiridos mais de 65 novos trens, os quais foram especificados com engates automáticos. Com isso, mais de 150 trens novos, além dos 50 trens já em circulação que possuem engates do tipo automático, totalizarão mais de 200 trens com este tipo de acoplador, ou seja, grande parte da frota operacional necessária de 241 trens, para operar em 2014 com intervalos entre trens de 3 minutos em todas as linhas da CPTM.

No quadro 3 estão listados todos os tipos de engates encontrados nas diferentes séries de trens metropolitanos da CPTM.

Quadro 3: Tipos de Engates nos Trens Metropolitanos da CPTM.

TRENS METROPOLITANOS CPTM - ENGATES					
TRENS SÉRIES	TIPO DE ENGATE ENTRE CABEÇERAS	FABRICANTE	TIPO DE ENGATE ENTRE CARROS	ACOPLAMENTO COM LOCOMOTIVA	ALTURA DO ENGATE
1100	"TIGHT LOCK" A.A.R.-H	BUCKEYE STEEL CASTING CO.	BARRA DE LIGAÇÃO	SIM-NORMAL	927
1400	"TIGHT LOCK" A.A.R.-H	BUCKEYE STEEL CASTING CO.	WM 5-6	SIM-NORMAL	927
1600	"TIGHT LOCK" A.A.R.-H	BUCKEYE STEEL CASTING CO.	WM 5-6	SIM-NORMAL	927
1700	AUTOMÁTICO	BSI-BERGISCHE STAHL INDUSTRIES	HASTE PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	990
2000	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	880
2070	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	927
2100	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	927
3000	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	927
4400	ALLIANCE SWIVEL	COBRASMA	HASTE PERMANENTE CT8370	SIM-NORMAL	1050
5000	A.A.R.- "E"	COBRASMA	HASTE PERMANENTE	SIM-NORMAL	1003
5500	A.A.R.- "E"	COBRASMA	HASTE PERMANENTE	SIM-NORMAL	1003
7000	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	-
7500	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	-
8000	AUTOMÁTICO	SCHARFENBERG	SEMI PERMANENTE	SOMENTE COM ADAPTADOR	-

A figura 11 mostra o engate automático do trem série 7000.



a) b)  
Figura 11: Engate Automático – a) cabine líder e b) cabine intermediária.

Além dos trens, também é necessário que as locomotivas da CPTM possuam engates compatíveis ou adaptadores de engates, que possibilite o reboque de um trem em situação de adversidade, como por exemplo, um falta de alimentação da energia de tração dos trens, na qual somente um veículo movido a energia de combustão fóssil pode circular. Atualmente a CPTM possui 17 locomotivas movidas a diesel, e em todas existe a possibilidade de inserção de adaptador para engate do tipo automático.

O quadro 4 mostra os tipos de locomotivas em uso na CPTM e os respectivos tipos de engates.

Quadro 4: Tipos de Engates nas Locomotivas da CPTM.

LOCOMOTIVAS CPTM		
SÉRIES	TIPO DE ENGATE	ALTURA (mm)
ALCO - 6000 (8 LOCOMOTIVAS)	STANDARD - "E" (UNIVERSAL) ENGATA EM TODOS OS TRENS DA CPTM COM ENGATES TIPO - H e E, NOS ENGATES AUTOMÁTICOS NECESSITA DE ADAPTADOR	990
LEW - LARGA (3 LOCOMOTIVAS)		1005
LEW - ESTREITA (3 LOCOMOTIVAS)		750
U20C (2 LOCOMOTIVAS)		990
U6B (3059)		990

Note que para os trens que possuem engate automático, é necessário o uso de adaptador de engate. Na figura 12 pode ser visualizado o adaptador de engate na locomotiva ALCO - 6004.



Figura 12: Adaptador de Engate Automático para Locomotiva – a) desacoplado e b) acoplado.

Cabe salientar que o processo de engate de trens por locomotivas requer um tempo elevado, pois somente o processo de inserção do adaptador para engate automático na locomotiva dura cerca de 18 minutos e, além disso, o peso do adaptador é de aproximadamente ~~70kg~~ 70 kg, o que requer no mínimo duas pessoas para manuseá-lo.

## 2.4. ENGATE AUTOMÁTICO – SCHAFENBERG – TRENS SÉRIE 7000

Como visto anteriormente, o engate automático tem a função de acoplar dois trens ou dois trens unidades elétricas, realizando em uma única operação, um acoplamento mecânico, pneumático e elétrico entre elas.

O acoplamento é realizado de forma automática com a simples aproximação dos trens a uma velocidade máxima recomendada de 3 km/h. Este deve ser feito com o alinhamento das duas unidades, podendo existir um ligeiro deslocamento angular tanto horizontal quanto vertical.

O desacoplamento também é automático, podendo ser efetuado na cabine de condução por meio do botão DESACOPLE, ou de forma manual, em caso de emergência, por meio de um cabo de desengate.

Ele dispõe de um dispositivo de absorção de energia que cede sob impactos fortes, protegendo a estrutura de danos aos carros de passageiros.

### 2.4.1. Engate Automático – Descrição Geral

O engate automático é instalado nas extremidades frontais dos carros com cabine de condução e tem a função de acoplamento e reboque de trens em situações de emergência. É projetado para garantir acoplamentos mecânicos, pneumáticos e elétricos com trens com cabeça de engate compatível com o modelo *Scharfenberg* utilizado nos trens da série 7000 da CPTM.

O engate automático é composto por várias partes funcionalmente diferentes, sendo as principais relacionadas a seguir: sistema de acoplamento e desacoplamento mecânico; sistema de acoplamento pneumático formado por duas conexões; sistema de acoplamento elétrico, encarregado de proporcionar a ligação elétrica entre os trens; e sistema de amortecimento de impacto, capaz de suportar as forças de um acoplamento sem propagá-las à estrutura do trem.

O engate automático tem um suporte vertical associado ao dispositivo de centralização que permite o ajuste da posição vertical e horizontal da cabeça de engate, possibilitando assim o acoplamento entre composições em condições de alturas diferentes de cabeças de engates, para o mínimo raio vertical de curva de 750 metros e para o mínimo raio horizontal de curva de 80 metros. O acoplamento é realizado automaticamente com a simples aproximação dos trens a uma velocidade máxima recomendada de 3 km/h. O desacoplamento do engate

automático é realizado de forma remota por meio de um botão localizado na cabine de condução do trem ou manual a partir de uma alavanca localizada na cabeça do engate.

No engate automático (figura 13) existe uma porção elétrica que possibilita a comunicação entre trens da mesma série ou compatíveis da CPTM. A porção elétrica acopla por ativação pneumática, após a realização do acoplamento mecânico do engate, e desacopla antes do desacoplamento mecânico ser iniciado.

Na parte superior da cabeça do engate automático existe uma chapa que possibilita que uma pessoa possa subir e alcançar a parte frontal do trem.

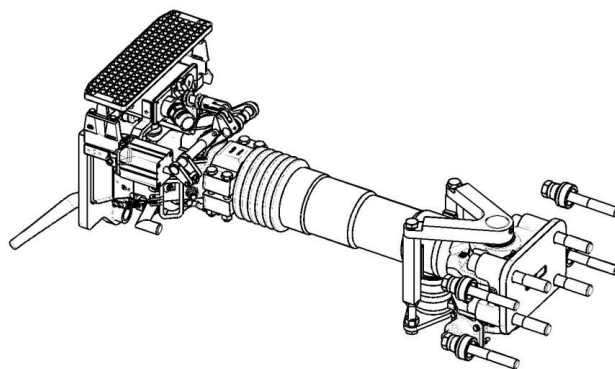


Figura 13: Ilustração do Engate Automático – Cópia de [14].

O engate automático do trem série 7000, inclui:

- Cabeça de engate modelo *Scharfenberg*;
- Porção elétrica na cabeça do engate;
- Dispositivo de desacoplamento manual e botão de desacoplamento remoto (na cabine);
- Conexões pneumáticas para acoplamento e desacoplamento;
- Sistema de absorção de energia tipo gás hidráulico;
- Dispositivo de centralização horizontal, associado a um suporte vertical de ajuste;
- Chapa na parte superior da cabeça do engate que possibilita que uma pessoa possa subir e alcançar a parte frontal do trem;
- Fusíveis de proteção

As figuras 14 e 15 mostram a posição do engate automático no trem da série 7000.



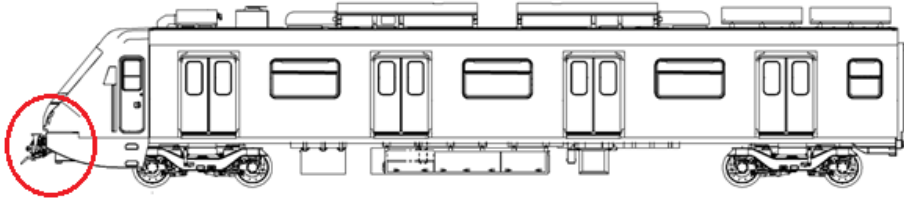


Figura 14: Posição do Engate Automático – Vista Lateral – Modificado de [14].

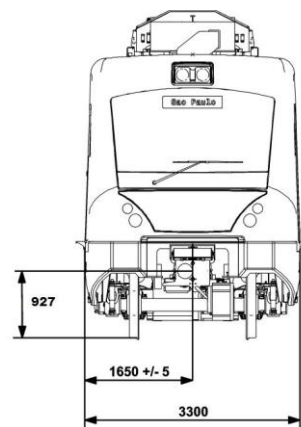


Figura 15: Posição do engate automático – Vista Frontal – Cópia de [14].

A figura 16 detalha os componentes que compõem o engate automático.

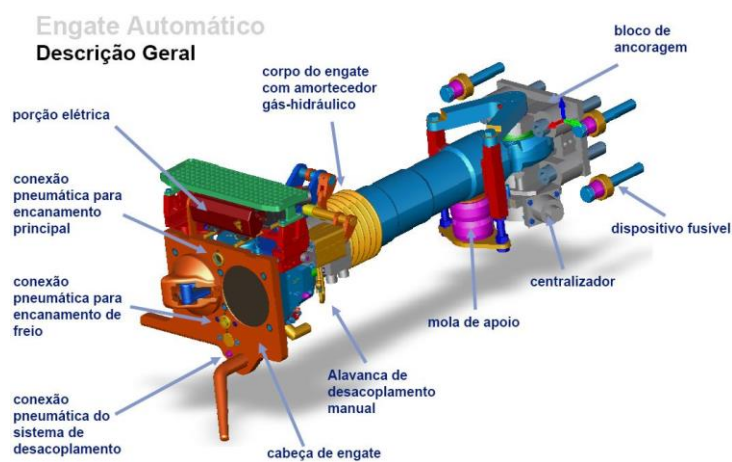


Figura 16: Descrição Geral do Engate Automático – Cópia de [18].



#### 2.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

No quadro 5, estão descritas informações sobre as características técnicas do engate automático do trem série 7000.

Quadro 5: Características técnicas do engate automático.

ENGATE AUTOMÁTICO - CARACTERÍSTICAS	
Peso (aproximado)	450 kg
Comprimento total	1813,5 mm
Altura máxima	740 mm
Altura de apoio do suporte	380 mm
Distância entre o eixo de giro e a superfície de acoplamento	1360 mm
Distância entre o eixo de giro e o apoio do suporte	215 mm
Deslocamento angular lateral máximo	$\pm 35^\circ$
Deslocamento angular vertical máximo	$\pm 6^\circ$

As características técnicas do sistema de amortecimento do engate estão relacionadas no quadro 6.

Quadro 6: Características técnicas do sistema de amortecimento.

SISTEMA DE AMORTECIMENTO DO ENGATE - CARACTERÍSTICAS	
Energia absorvida de tração	7075 J
Resistência a tração	390 kN
Estiramento por tração	40 mm
Energia absorvida de compressão	10735 J
Resistência a compressão	540 kN
Encurtamento por compressão	50 mm

No diagrama da figura 17, pode ser verificado as curvas de tração e compressão, no qual se pode observar que o conjunto de choque e tração suporta elasticamente uma compressão de 540 kN e uma tração de 390 kN. Através da absorção do trabalho elástico é obtida uma amortização de aproximadamente 65% na direção de choque e tração. Os percursos elásticos máximos são de 50 mm em compressão e de 40 mm em tração.

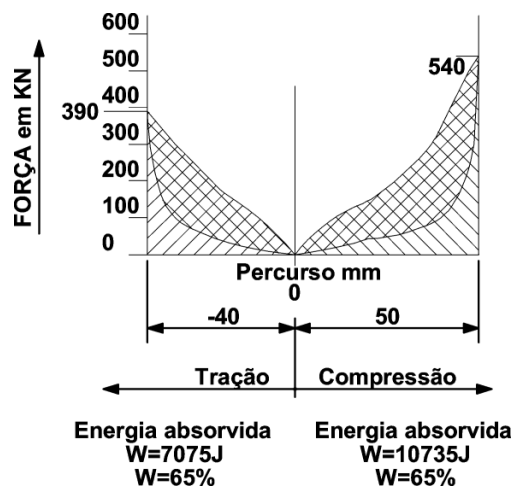


Figura 17: Diagrama de absorção de energia – Cópia de [14].

As características técnicas do amortecedor de impactos estão descritas no quadro 7.

Quadro 7: características técnicas do amortecedor de impactos.

AMORTECEDOR DE IMPACTOS - CARACTERÍSTICAS	
Binário de torção máximo entre extremidades	200 Nm / grau
Reação dinâmica máxima	1300 kN
Curso	103 mm
Força estática a tração mínima	1000 kN
Força estática a compressão mínima	1500 kN
Ângulo de giro máximo relativo entre extremidades	$\pm 1^\circ$

Na figura 18, está exemplificado o tipo de amortecedor de impactos, que é o principal responsável pelo conforto interno nos vagões.



Figura 18: Amortecedor de impactos – Cópia de [14].

O amortecedor de impactos é composto por elementos elásticos no sentido longitudinal, que não deformam em serviço normal e são capazes de absorver a energia transmitida por choques.

### 2.4.3. FUNCIONAMENTO

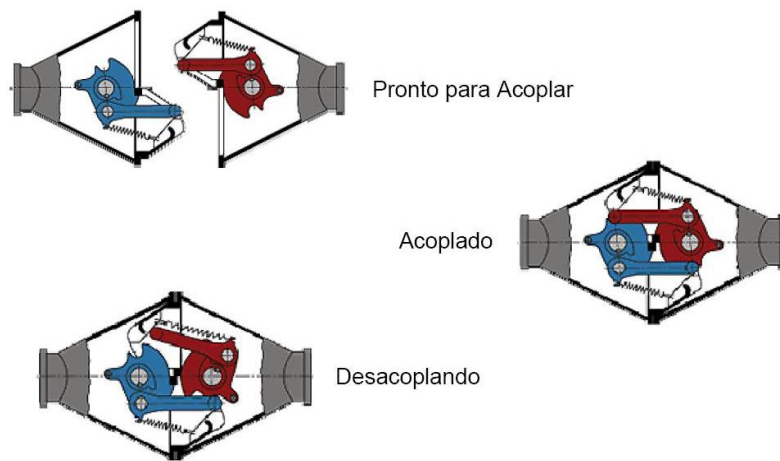
O engate automático possui elementos projetados para assegurar uma ampla faixa de acoplamento, assim como a centralização e alinhamento dos engates, quando acoplados. Esta face de acoplamento e o mecanismo de trava do engate formam uma conexão rígida horizontal e vertical.

O paralelogramo de forças formado pelo mecanismo de trava, proporciona uma distribuição uniforme das cargas de tração, formando uma conexão rígida e livre de folgas proporcionadas na tração e frenagem dos carros. O amortecedor de impactos é composto por elementos elásticos no sentido longitudinal, que não deformam em serviço normal e são capazes de absorver a energia transmitida por choques.

Segundo a VOITH Turbo—[18], representante brasileira dos engates automáticos *Scharfenberg*, o seu princípio de funcionamento proporciona altos índice de confiabilidade e conforto, elevada vida útil e desgaste mínimo. Além disso, os desgastes não afetam a segurança do acoplamento.

Quando os dois trens entram em contato, as duas cabeças do engate são colocadas em coincidência com a ação das guias. No momento em que as duas placas dianteiras unem-se, o êmbolo de cada cabeça de engate é empurrado para trás. A chave fixada debaixo da barra de tranca libera o sistema de acoplamento e, com a pressão das molas de engate, as duas rótulas ficam na posição acoplada. As molas de engate mantêm o sistema de acoplamento nesta posição, produzindo um equilíbrio de forças que impede qualquer separação (figura 19).

No momento da entrada em contato das duas cabeças de engate, os dois acoplamentos pneumáticos abrem-se de forma simultânea. Durante o acoplamento mecânico, o eixo principal de cada engate gira e arrasta o came em movimento de rotação, liberando o prendedor do disco de cames e abrindo a válvula. A conexão pneumática é realizada por meio dos anéis de vedação, que são pressionados um contra o outro.

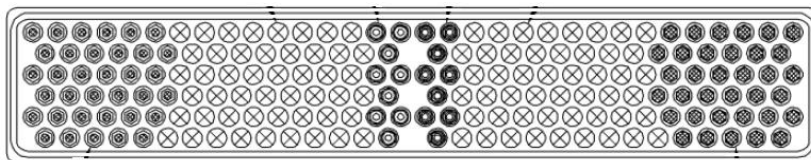


**Figura 19: Cabeça do engate – funcionamento – Modificado de [15].**

O acoplamento elétrico se dá pela caixa localizada na parte superior da extremidade do engate. As caixas opostas entram em contato durante o acoplamento mecânico e são acionadas pelo sistema de acoplamento elétrico. Na posição de desacoplamento, as caixas permanecem tampadas e recolhidas. No momento de acoplamento, elas se movem para frente e as tampas se abrem automaticamente.

O sistema de acionamento do acoplamento elétrico tem a função de acionar as caixas de contatos elétricos que ficam na parte superior do engate automático. O acionamento é realizado pneumaticamente, em sintonia com o movimento do sistema de acoplamento mecânico. O acionamento é feito pela atuação de um cilindro pneumático acionado por meio de pinos localizados na parte frontal da porção elétrica.

Para que as porções elétricas possam ser ativadas, há necessidade de acionamento de dois pinos frontais da porção, o que só ocorre quando o engate acoplado possui o mesmo tipo de porção elétrica. A figura 20 mostra os contatos elétricos da porção elétrica.



**Figura 20: Caixa de contatos elétricos (Porção elétrica) – Cópia de [14].**

Para realizar o desacoplamento de um trem unida elétrica (TUE) de uma composição, esta deve estar completamente parada, e então acionar o botão DESACOPLAMENTO do painel superior da cabine. Este botão envia um pulso que excita a eletroválvula que comanda o desacoplamento entre as unidades. A tubulação de desengate faz a comunicação entre os sistemas de desengate das duas unidades acopladas, transmitindo a pressão pneumática necessária para o desacoplamento automático. Durante o desacoplamento da tubulação do reservatório principal de ar, as válvulas da tubulação voltam à sua posição devido à ação das molas e fecham automaticamente a tubulação.

O desacoplamento também pode ser realizado manualmente puxando ao mesmo tempo o pomo de desacoplamento do engate automático de cada TUE. Recomenda-se que esse desacoplamento manual seja realizado somente em casos de emergência.

Para manter o engate fixo na posição centrada quando está sem acoplar, o engate automático tem incorporado um dispositivo centralizador que está fixado com parafusos na parte inferior do suporte. O dispositivo centralizador é acionado mecanicamente.

#### 2.4.4. ESFORÇOS REALIZADOS NOS ENGATES

A força de tração de um veículo ferroviário motriz é o conjugado motor no extremo das rodas que proporciona o deslocamento do carro motor e por consequência a movimentação dos trens. Esta força é a capacidade de tração de um veículo motriz. Ela é o resultado da energia mecânica aplicada às rodas motrizes dos veículos. Outra força relacionada é a força no engate, ou seja, a força de tração final do veículo. Convém lembrar que a força de tração máxima só é atingida no ponto em que as rodas tendem a patinar. Como a velocidade do reboque é constante em 20km/h, o esforço trator nos trens iguala-se à soma das resistências ao movimento. Este esforço depende da potência do trem e é limitado pela aderência das rodas ao trilho.

Os trens da série 7000 da CPTM, modelos de estudo, foram projetados e fabricados respeitando as características de carregamento. A figura 21 ilustra a formação de uma TUE.



Figura 21: Vista lateral de um TUE – Série 7000 – Cópia de [16].

**Legenda** Descrição:

- M1: Carro Motor com cabine de condução
- R1: Carro Reboque
- R2: Carro Reboque diferenciado
- M2: Carro Motor diferenciado com cabine de condução

Dados do Fabricante [14]:

- Esforço Trator: 28.300 Kgf
- Potência Contínua: 2.860 Kw
- Lotação M1/M2: 302 passageiros
- Lotação R1/R2: 329 passageiros
- Lotação TUE: 1262 passageiros
- Peso M1/M2: 45.700 Kg
- Peso R1/R2 : 40.000 Kg

Para o cálculo do esforço do engate, foi adotada a velocidade de reboque de trem de acordo com o procedimento operacional (P.O.) [4] da CPTM, que é de no máximo ~~20 km~~ 20 km/h.

O quadro 8 demonstra o cálculo do peso dos carros de uma TUE carregada. Foi adotado como peso médio por passageiro ~~70 kg~~ 70 kg.

Quadro 8: Peso dos carros de uma TUE carregada.

Tipo	Tara [kg]	Lotação (passageiros)	Cálculo do Peso	Total [Kg]
Carro M1	45.700	302	$(302 \times 70) + 45.700$	66.840
Carro R1	40.000	329	$(329 \times 70) + 40.000$	63.030
Carro R2	40.000	329	$(329 \times 70) + 40.000$	63.030
Carro M2	45.700	302	$(302 \times 70) + 45.700$	66.840

Para o cálculo do peso médio dos carros, foi considerado ~~o~~ ao a carga máxima de passageiros, conforme manual do fabricante [14]:

$$\frac{66.840 + 63.030 + 63.030 + 66.840}{4} = 64.935 \text{ kg}$$

O peso médio por eixo, conforme manual do fabricante [14]:

$$\frac{64.935}{4} = 17.857kg$$

De acordo com dados fornecidos pelo fabricante [14], o motor de tração tem uma potência de:

$$260 \text{ kw.}$$

Um trem da série 7000 possui 16 motores de tração, porém, utilizando a limitação de 50% potência (potência reduzida), temos:

$$260 \times 8 = 2.080kw$$

Convertendo kW em HP:

$$2.080kw = 2.790hp$$

Utilizando a expressão geral da potência, obtemos a força máxima aplicada pelo motor de tração no engate dos trens:

$$P = \frac{\text{Força} \times \text{Distância}}{\text{Tempo}} = \text{Força} \times \text{Velocidade}$$

As unidades utilizadas são:

- Força – kgf
- Potência – HP
- Velocidade – km/h

A fórmula para o cálculo do esforço trator fica:

$$F = \frac{273,24 \times \text{Potência}}{\text{Velocidade}} = \frac{273,24 \times 2.790}{20} = 38.116,98hp \times \text{fator perdas}$$

De acordo com o autor do livro Estradas de Ferro - Vol. 2, Helvécio Lapertosa Brina [25], o fator de correção das perdas do motor elétrico, coeficiente de atrito e perdas mecânicas é 0,74, portanto:

$$F = 38.116,98 \times 0,74 = 28.300\text{kgf} = 278\text{kN}$$

Está representado no gráfico de tração e compressão (figura 22) o esforço que o engate sofre durante o reboque. Por meio deste, é possível verificar que o dimensionado está correto para suportar a força exercida no engate.

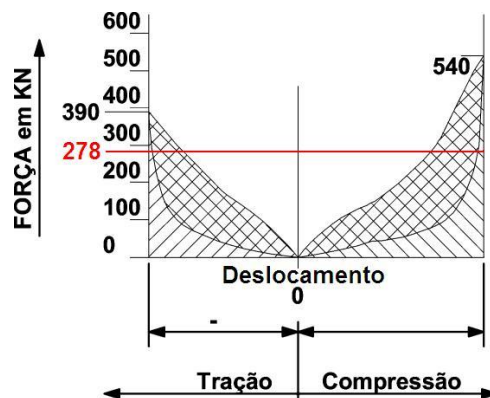


Figura 22: Reta referente ao esforço trator suportado pelo engate – Modificado de [14].

Quando são considerados os 16 carros, ou seja, um trem rebocando o outro, mesmo que ambos estejam com seus limites de lotação de passageiros, através do estudo acima, é possível afirmar que o engate do trem que está realizando o reboque e também do trem trator, é capaz de suportar a carga de esforço proposta no reboque trem com trem.

#### 2.4.5. SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico do trem foi fundamental neste estudo, pois através de modificações em sinais elétricos nos dispositivos envolvidos no reboque de trens, foi possível implementar as alterações



que permitiram a realização do reboque de forma rápida e segura. Sempre foram consideradas as situações extremas de segurança, por isto, os sinais alterados não perderam suas características de falha segura. Um dos elementos alvo deste estudo foi a porção elétrica do engate, que será vista a seguir.

#### 2.4.5.1. PORÇÃO ELÉTRICA

A porção elétrica do engate, como é conhecida no meio ferroviário, é formada pelos pinos de conexão elétrica disponíveis nos engates dos trens, através dos quais são realizadas todas as comunicações entre carros, ou seja, toda a troca de informações entre TUEs e trens.

Na figura 23 pode-se verificar a pinagem da porção elétrica do engate do trem série 7000.

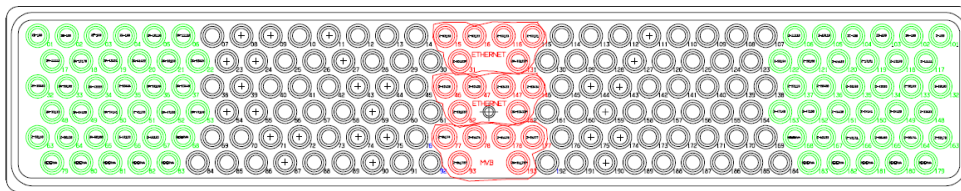


Figura 23: Porção Elétrica do engate do trem série 7000 – Cópia de [14].

Para uma melhor identificação e compreensão, os conectores estão separados por cores.

- A pinagem na cor verde correspondem aos sinais utilizados para informações relativas aos sistemas vitais, tais como tração, freios, portas, e outros.
- A pinagem identificada na cor vermelha, são as responsáveis pelos sinais de dados do trem (data bus e ethernet).
- A pinagem na cor preta, correspondem as portas livres (sem conectores).

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,27 cm, Sem marcadores ou numeração

**Formatado:** Parágrafo da Lista, Espaçamento entre linhas: simples, Sem marcadores ou numeração, Tabulações: Não em 1,25 cm

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,27 cm, Sem marcadores ou numeração

Há pinos reservas disponíveis, os quais foram utilizados na implementação do projeto.

O quadro 9 exemplifica a descrição e a localização das informações transmitidas por cada pino.

Quadro 9: Descrição e localização das pinagens do engate – Porção Elétrica.

DIREITA / ESQUERDA		
PINO	CÓDIGO	FUNÇÃO
01/101	100	NEGATIVO
02/102	100	NEGATIVO
03/103	100	NEGATIVO
04/104	100	NEGATIVO
05/105	10110	TREM HABILITADO
06/106	11110	HABILITAÇÃO BATERIA
17/117	11111	MODO SOCORRO / COSMOS
18/118	12170	COMPRESSOR AUX. / PANTO
19/119	13151	MODO SOCORRO
20/120	16122	EMERGÊNCIA
21/121	20150	PROPULSÃO HABILITADA
22/122	20194	CONTROLADOR PRINC. TRAÇÃO
32/132	20193	CONTROLADOR PRINC. NEUTRO
33/133	20192	CONTROLADOR PRINC. FRENAGEM
34/134	43525	INFORMAÇÃO ATC REDUNDANTE
35	20191	SELEÇÃO DE COMANDO RÉ
36/136	20180	MODO CONDUÇÃO RESTRIÇÃO
37/137	23119	TREM ACOPLADO
48/148	33133	INFORMAÇÃO ACOPLAMENTO / COSMOS
49/149	34120	LAÇO DE EMERGÊNCIA
50/150	34141	ISOLAMENTO DE FREIO
51/151	41135	INFORMAÇÃO EMERG. PORTAS
52/152	47158	EXTINÇÃO INCÊNDIO
53/153	47140	DETECÇÃO INCÊNDIO
63	50140	ABERTURA PORTAS DIREITAS
64	50130	FECHAMENTO PORTAS DIREITAS
65/165	50180	SONAL VELOCIDADE = 0
66/167	62122	JUMPER ACOPLAMENTO
67	62123	INFORMAÇÃO ACOPLAMENTO / RELÊS

ESQUERDA		
PINO	CÓDIGO	FUNÇÃO
135	20190	SELEÇÃO COMANDO FRENAGEM
163	50170	ABERTURA PORTAS ESQ.
164	50171	FECHAMENTO PORTAS ESQ.
166	62131	JUMPER ACOPLAMENTO

CENTRO / ETHERNET		
PINO	CÓDIGO	FUNÇÃO
15	83120	ETHERNET, SISTEMA DE INFORMAÇÃO AOS PASSAGEIROS, SWE1-P0
16	83122	
115	83121	
116	83123	
31	83123P	
131	83123P	

46	83130	ETHERNET, SISTEMA DE INFORMAÇÃO AOS PASSAGEIROS, SWE1-P1
47	83132	
146	83131	
147	83133	
62	83133P	
162	83133P	

77	86174	ETHERNET, SISTEMA COSMOS
78	86176	
177	86177	
178	86175	
93	86175P	
193	86175P	

A interligação da comunicação entre os carros de um mesmo TUE é feita por meio de jumpers, pois o acoplamento dos carros é feito pelos engates semipermanentes (similar ao engate tipo barra, ilustrado na figura 2).

### 3. FREIOS

Os sistemas de freios são dispositivos eletropneumáticos e eletrônicos (frenagem elétrica) do trem, sendo responsável pela parada segura do trem, podendo ser acionado de forma proposital ou no modo forçado, ou seja, sem a interferência do maquinista, isto ocorrerá de forma automática, quando houver qualquer anomalia em sistemas interligados a ele, como, por exemplo, baixa pressão de ar, codificação do ATCU, entre outros.

O equipamento de freio pneumático (alvo do estudo) consiste em um sistema de freio de fricção analógico, com controle eletropneumático para os atuadores do freio. Além disso, para o reboque de uma unidade danificada é possível ser usado uma tubulação de freio indireto.

O sistema de freio do trem série 7000 é capaz de atender às seguintes funções principais:

- Freio de serviço eletropneumático;
- Freio de emergência;
- Freio de estacionamento;
- Freio de reboque;
- Freio Dinâmico.

No item 3.1, será mostrado como funciona a estrutura de um sistema de freio em um trem, separado em níveis, sendo o nível inicial considerado no comando, o segundo nível dos equipamentos pneumáticos e o terceiro nível, ação do sistema pneumático de freio nos truques.

#### 3.1. NÍVEIS DE FREIO

O projeto original do trem série 7000 consiste em um trem unidade formado por quatro carros, e esses trens unidades permitem a formação de um trem de oito carros. Os carros do trem têm dois truques com dois eixos em cada um.

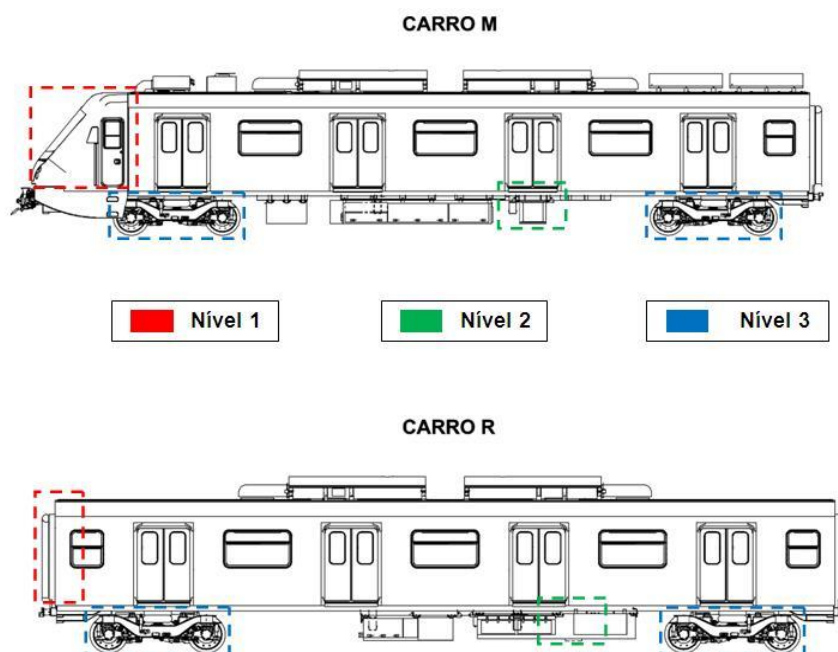
O sistema de freio pneumático consiste num sistema de freio de fricção analógico de tubo único com controle eletropneumático para os atuadores do freio com ar aplicado. O sistema é composto basicamente de uma unidade de suprimento de ar, um freio direto com uma unidade de controle pneumática, um freio de reboque e alguns componentes auxiliares (alguns deles

montados no painel B03), como o comando do freio de estacionamento e a alimentação da suspensão.

A demanda de freio feita pelo maquinista é recebida pelo sistema de controle do trem, que envia o sinal via MVB para todos os equipamentos de propulsão. Esses equipamentos de propulsão gerenciam a demanda do freio conforme a carga de cada carro. Dependendo do sinal de entrada de demanda do freio recebido e do freio eletrodinâmico (ED) disponível, o BCU calcula a demanda do freio de fricção adicional necessária e envia esse valor para o conversor digital, gerando uma pressão de pré-controle.

O controle de freio e o sistema de proteção contra deslizamento da roda são controlados por microprocessador e implantados em um rack único (BCU). Todos os carros terão uma unidade de controle de freio (BCU), que controla o freio pneumático direto e a proteção contra deslizamento da roda. O hardware (incluindo a quantidade total de entradas e saídas disponíveis) e software do BCU são os mesmos para cada um dos carros (o BCU de um carro é totalmente intercambiável com o BCU dos outros), embora a interface (as variáveis e a quantidade, uso e significado dos sinais enviados via cabo do MVB) possa ser diferente entre o BCU e os elementos controlados por ele nos carros motor e reboque.

Para simplificar a apresentação do sistema de freio, representamos seu funcionamento em níveis, conforme ilustrado na figura 24.



**Figura 24: Níveis de Freios – Carro Motor e Carro Reboque – Modificado de [14].**

O primeiro nível engloba o comando e controle, no qual o comando pode vir do condutor/maquinista pelo acionamento do controle mestre, ou pelo acionamento do botão soco, e também pela penalização do ATCU. A parte do controle é feita pela Unidade de Controle de Freio (BCU). A figura 25 mostra o console de freio do trem série 7000, a figura 26 mostra o painel de controle do ATCU, a figura 27 mostra o gabinete do sistema de freio e a figura 28 mostra a BCU.

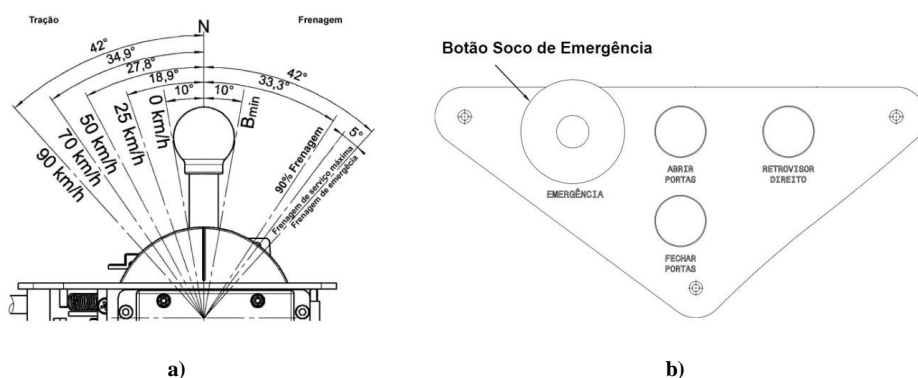


Figura 25: Console de Controle de Freio – a) controlador mestre e b) console lado direito – Cópia de [14].

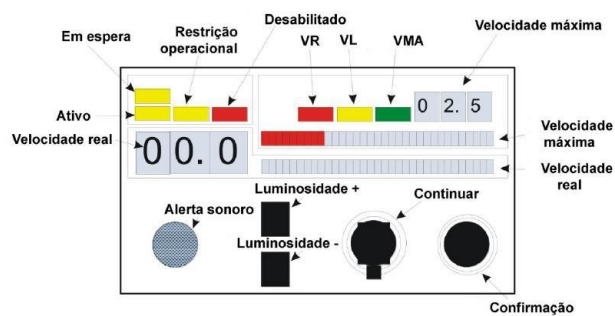
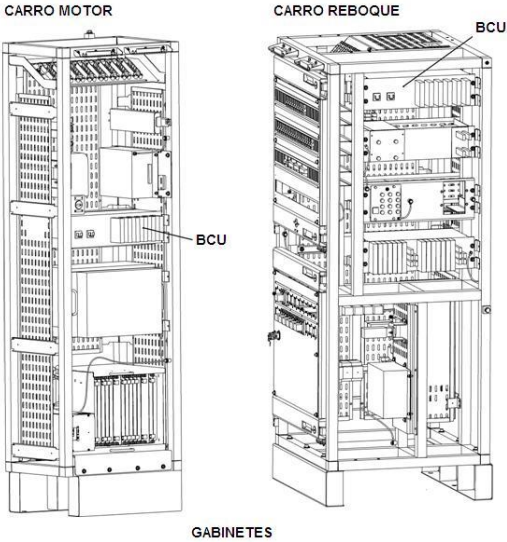
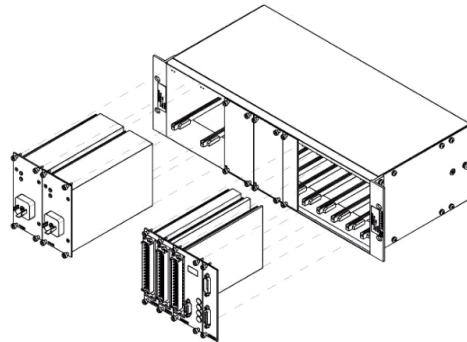


Figura 26: Painel de Controle do ATCU – Cópia de [14].

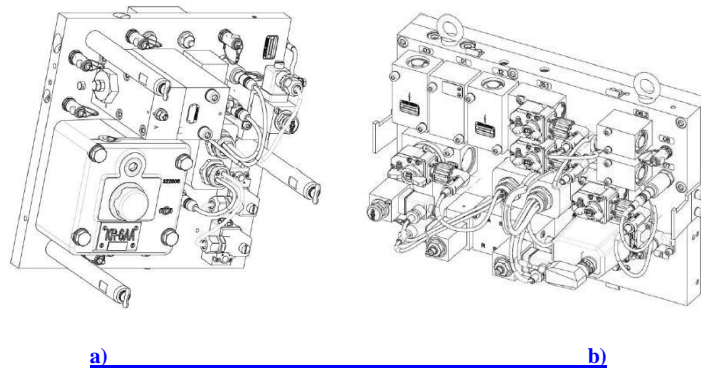


**Figura 27: Gabinetes do sistema de freio – Cópia de [14].**



**Figura 28: Unidade de controle de freio BCU – Cópia de [14].**

O segundo nível engloba equipamentos pneumáticos (figura 29) instalados na caixa, esses equipamentos são os painéis B01 (Painel de Freio), e os painéis B03 (Painel Auxiliar do Freio de Estacionamento).

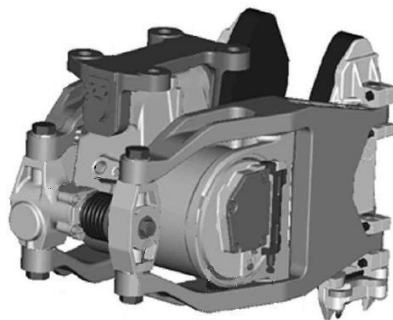


**Figura 29: a) painel de freio (B01) e b) painel auxiliar do freio de estacionamento (B03) – Cópia de [14].**

O terceiro nível engloba equipamentos pneumáticos instalados no truque. O equipamento de freio montado no truque consiste basicamente de duas unidades de pinças de freio (figura 30) com discos de freio montados na roda.

Todos os carros são equipados com unidades compactas de pinças de freio (modelo RZSS24), incluindo dois freios de estacionamento aplicados por mola por truque. As unidades de pinças com atuadores de freio de estacionamento são equipadas com um dispositivo mecânico de liberação, pelo qual os atuadores de freio aplicados por mola podem ser liberados usando um controle remoto (de um lado do corpo do carro).

Todas as unidades de pinças de freio são fornecidas com ajustadores automáticos de folga.



**Figura 30: Pinça de freio – Cópia de [14].**

Nos próximos itens e subitens serão explicados os tipos de freios e respectivos funcionamentos.

### 3.2. FREIO DE SERVIÇO ELETROPNEUMÁTICO

O freio de serviço eletropneumático é priorizado pelo freio dinâmico (freio elétrico). O sistema permite o uso de freio conjunto em caso de insuficiência do freio dinâmico, como suplementação adicional. Em um escopo maior, o freio pneumático pode substituir o freio dinâmico se ocorrer uma falha.

Esse sistema de freio é projetado para aplicar o freio de retenção automaticamente quando o veículo [parapara](#).

A frenagem de serviço garante uma desaceleração máxima de  $1,1 \text{ m/s}^2$  (+ 7% - 0%), independente da velocidade do trem, com carregamento de até 8 pass./m<sup>2</sup>.

#### 3.2.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE SERVIÇO

A demanda de freio feita pelo maquinista do trem é recebida pelo sistema de controle do trem, o qual envia o sinal via MVB para todos os equipamentos de propulsão. Esses equipamentos gerenciam a demanda do freio, conforme a carga de cada carro.

Dependendo do sinal de entrada referente a demanda do freio recebido e do freio eletrodinâmico (ED) disponível, o BCU calcula a demanda do freio de fricção adicional necessária e envia esse valor para o conversor digital, gerando uma pressão de pré-controle (Cv).

O ar comprimido do tubo do reservatório principal passa pelo filtro no painel auxiliar do freio de estacionamento, por meio de um registro de isolamento na BCU e uma válvula de retenção, no painel auxiliar do freio de estacionamento, para o reservatório do freio. A válvula de retenção garante que a pressão do ar seja reservada no reservatório de freio para a operação dos freios de fricção em caso de perda do tubo do MRP.

O ar passa pelo registro de isolamento, no qual o conversor digital gera a pressão de pré-controle Cv, controlando as válvulas magnéticas de carregamento/descarga. Os sinais para o conversor EP são sinais de aplicação/manutenção/liberação representativos do sinal do freio de fricção com limitação de trepidação, correspondente à parcela de freio de fricção necessária para atender à demanda total de frenagem. A conversão do sinal elétrico em uma pressão de pré-controle Cv proporcional, é um controle de loop fechado, relativo à demanda



de sinal. O circuito de controle consiste de válvulas magnéticas de aplicação e liberação, um transdutor de pressão, para medir a pressão atual, e um regulador, que controla as duas válvulas magnéticas com relação à diferença entre o sinal de demanda e o valor da pressão atual. Controlando seletivamente os sinais das válvulas magnéticas de aplicação e liberação, em relação ao sinal do transdutor de pressão de pré-controle, a unidade eletrônica do freio mantém constante a relação entre a demanda do freio de fricção e a pressão de pré-controle Cv na válvula do relé.

A pressão de pré-controle Cv, flui para a válvula magnética de emergência, a qual está energizada em condições normais do freio de serviço, permitindo que a pressão de ar de controle do conversor EP flua pela válvula limitadora de carga para a válvula do relé.

Para o freio de serviço, a correção de carga é feita eletricamente pelo sinal de demanda do freio do BCU, para o conversor EP, também baseado no sinal de carga elétrica do transdutor de pressão.

O transdutor de pressão dá a informação de freio liberado/freio aplicado.

A válvula magnética denominada de B16 isola o freio por carro e permite que os cilindros do freio aplicado a ar sejam liberados.

Usando o registro B15 ou o registro B03.02 é possível isolar também todo o sistema de controle de freio por carro.

Para operações de manutenção, são fornecidos também registros de isolamento com interruptores elétricos, sendo um por truque.

Um manômetro duplo é montado nos carros motores para exibir a pressão no tubo dos reservatórios principais e a pressão nos cilindros de freio.

### 3.3. FREIO DE EMERGÊNCIA

O freio de emergência é utilizado para fornecer um sistema mais seguro. O sistema de freio possui um canal independente para o freio de emergência, que é compensado, dependendo da carga de cada carro, o qual é informado ao sistema, por leitura de bolsas de pressão, que identificam a carga de cada carro.

Esse sistema é baseado no princípio de desativação, ou seja, falha segura, portanto ele garante o freio depois de qualquer falha possível no controle eletrônico do sistema de freio.

A frenagem de emergência é apenas por atrito e garante uma taxa de desaceleração de  $1,2 \text{ m/s}^2$  (+ 7% - 0%) para qualquer velocidade, com carregamento de até 8 pass./m<sup>2</sup>.

### 3.3.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE EMERGÊNCIA

Em uma aplicação do freio de emergência, o *loop* de controle do freio de emergência elétrico é aberto e a válvula magnética é desenergizada (princípio de segurança de falha segura), de forma que a pressão do ar do reservatório do freio flua para a válvula limitadora de carga e a válvula de relé, iniciando a aplicação do freio de emergência conforme a carga.

Em uma aplicação do freio de emergência, a unidade de controle do freio controlará também o conversor EP para fornecer o mesmo nível de desaceleração de freio como reserva da válvula magnética de emergência.

A válvula de limitação de carga recebe a pressão do sinal de carga da suspensão e limita a pressão de pré-controle de emergência de acordo com essa carga. Essa pressão passa para a válvula de relé que transforma essa pressão de pré-controle em uma oferta aumentada de pressão para os cilindros de freio. Durante uma frenagem de serviço, a válvula de limitação de carga permite a passagem livre.

Como reserva, a válvula magnética é desenergizada quando o *loop* de controle do freio elétrico de emergência, ligado ao trem, é aberto e o ar do reservatório do freio flui pela válvula de pistão para a válvula de retenção dupla. A entrada da válvula de retenção sujeita a maior pressão é conectada à saída, aplicando desta maneira o freio de emergência.

## 3.4. FREIO DE ESTACIONAMENTO

O freio de estacionamento mantém o veículo (com peso de tara, sem usuários) parado de forma segura, utilizando um sistema com um freio de mola operado por uma válvula magnética de impulso.

### 3.4.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE ESTACIONAMENTO

O ar do tubo dos reservatórios principais ou do reservatório da suspensão é alimentado para controlar o freio de estacionamento por meio de uma válvula magnética de impulso de aplicação/liberação do freio de estacionamento. Se a válvula magnética for desenergizada, o ar para a liberação do freio de estacionamento é alimentado pelo MRP. Se não houver pressão

de ar no MRP, é possível liberar o freio de estacionamento usando ar do reservatório da suspensão. Nesse caso, a válvula magnética deve ser energizada.

A válvula magnética de impulso tem dois magnetos que precisam receber um pulso de voltagem mínimo durante 100 ms para mudar a posição da válvula. Se o magneto “I” (válvula magnética) receber o pulso, o ar do MRP libera os cilindros do freio de estacionamento. No entanto, se o magneto “II” receber o pulso, o ar mantido no tubo dos cilindros do freio de estacionamento é expulso e o freio de estacionamento é aplicado.

A pressão do freio de estacionamento para os cilindros é monitorada por um regulador de pressão para evitar que o carro seja movido antes que os atuadores de freio aplicados por mola sejam liberados. Existe um conector de teste para verificar esse regulador de pressão.

O registro de corte com interruptores elétricos no tubo de estacionamento isola o freio de estacionamento por carro.

Existem válvulas de retenção duplas para evitar a superposição de forças de freio aplicadas, produzidas pelo freio de estacionamento e pelo freio de serviço. Assim sendo, quando o freio de serviço ou o freio de estacionamento é aplicado, o ar da válvula de relé libera (total ou parcialmente) a mola do freio de estacionamento por meio desta válvula, não importando a situação da válvula magnética de impulso.

### 3.5. FREIO DE REBOQUE

Este freio é utilizado durante o reboque de trens. A parte do freio indireto é controlada externamente por uma locomotiva ou por outra unidade que possa controlar o tubo de reboque, de forma que o tubo de reboque fique vazio durante a operação deste serviço.

O painel de reboque reage dependendo da diminuição do tubo de reboque, uma vez que este tubo esteja cheio, permitindo que as válvulas de pistão abram e fechem respectivamente, para aplicar apenas o freio indireto.

O painel de reboque cria uma pressão Cv, que é enviada para o painel de controle do freio pneumático, que aplica os freios.

A pressão do tubo indireto é monitorada por um regulador de pressão.

No caso dos compressores não poderem ser operados, o tubo do reservatório principal pode ser cheio por meio do tubo de reboque, os quais são monitorados pelo controle do trem. Esse equipamento está instalado apenas nos carros motores.

### 3.5.1. FUNCIONAMENTO DO FREIO DE REBOQUE POR LOCOMOTIVA

Durante a operação em serviço normal, o tubo de reboque ou tubo de freio indireto está vazio. Nessa condição, as válvulas de pistão são abertas. O ar do reservatório de freio passa pela válvula do pistão para a porta do painel de freio de serviço e emergência (EP-BGE-II) e alimenta o conversor digital e a válvula de emergência. Por outro lado, a válvula magnética é energizada, impedindo a passagem do ar para a porta STV do painel de freio de serviço e emergência. Quando uma unidade está sendo rebocada por uma locomotiva (ou por outra unidade que possa controlar o tubo de freio indireto), o *loop* de controle do freio de emergência elétrico é aberto e a válvula de emergência e a válvula magnética de reboque são desenergizadas. Assim sendo, se o tubo de freio de reboque estiver vazio, o freio de emergência é aplicado.

Durante a operação de reboque, estão disponíveis apenas dois níveis de freio: freio médio e freio de emergência.

A operação de reboque deve ser usada apenas para permitir o reboque de um trem danificado. Nessa situação, os passageiros devem deixar o trem na primeira estação.

#### **Liberação do freio de reboque:**

Durante o reboque por locomotiva, a válvula de emergência e a válvula magnética de reboque são desenergizadas. Assim sendo, se o tubo de freio de reboque estiver vazio, o freio de emergência é aplicado. Nessa situação, os registros B11 devem ser abertos para conectar o tubo de reboque entre os carros e com o tubo de freio indireto da locomotiva, e os registros B18, montados nos carros motores, devem ser abertos para permitir a passagem do ar do tubo de freio de reboque para o tubo do reservatório principal.

Para liberar o freio, a locomotiva aumenta a pressão no tubo de reboque. Quando a pressão TP atinge 3,2 bars, a válvula de pistão B37.01 é fechada e o freio de emergência é liberado.

Quando a pressão no TP atinge 4,8 bar, a válvula de pressão B37.03 é fechada e a pressão de freio de pré-controle na porta STV do painel freio de serviço é 0 bar, e o freio médio também é liberado.

#### **Freio de reboque médio e freio de reboque de emergência:**

Para frear a unidade, é necessário que o controle de freio indireto, situado na locomotiva, reduza a pressão no TP. Quando a pressão no TP cai abaixo de 4,5 bar, a válvula de pistão é aberta. O ar do reservatório do freio passa pela válvula de limitação para a válvula de retenção

dupla, gerando uma pressão de pré-controle Cv para a válvula de relé e atingindo o nível de freio de reboque médio. O valor do freio médio é ajustado pela válvula de limitação.

Se a pressão no TP continuar a cair e for reduzida a 3 bar, a válvula de pistão (B37.01) é aberta. O ar do reservatório de freio passa para a válvula de retenção dupla. Nesse caso, a pressão em um lado da válvula de retenção é a pressão do reservatório do freio, e a pressão no outro lado da válvula de retenção é a pressão média limitada pela válvula limitadora, de forma que a válvula de retenção dupla conecta a pressão na porta STV com a válvula limitadora de carga, atingindo um freio de emergência.

A válvula de limitação de carga recebe a pressão do sinal de carga da suspensão e limita a pressão de pré-controle de emergência de acordo com essa carga. Essa pressão passa para a válvula de relé que transforma essa pressão de pré-controle em uma oferta aumentada de pressão para os cilindros de freio. Durante uma frenagem de reboque média, a válvula de limitação de carga permite a passagem livre do ar.

### 3.6. FREIO DINÂMICO

Este circuito é o encarregado de comandar, através do inversor de tração, os motores elétricos de tração que colocam o trem em movimento, realizando a frenagem elétrica do trem, dissipando para o exterior a energia produzida durante a frenagem, sob a forma de calor através as resistências de freio ou devolvendo essa energia para a linha de alta tensão. Este tipo de freio não será abordado neste estudo.

A frenagem elétrica é concebida como a forma prioritária de parada do trem. A frenagem elétrica é totalmente regenerativa. Se a linha não for receptiva, a frenagem é combinada, regenerativa e reostática.

A frenagem de serviço elétrica atua entre 90 e 5 km/h garantindo uma desaceleração mínima de 0,7 m/s<sup>2</sup>.

### 3.7. SISTEMA PNEUMÁTICO

O sistema pneumático do trem é responsável por fornecer ar ao trem para a atuação do freio de atrito e para sistema de suspensão secundária do trem (sistema de bolsas de ar). O engate

automático do trem da série 7000 já possui um acoplamento automático do sistema pneumático, possuindo antes do engate uma torneira de isolamento, a qual na proposta do trabalho sempre estará na posição de passagem (o engate possui uma retenção para evitar a descarga de ar após o desacoplamento).

Este sistema é essencial para o funcionamento do reboque entre trens, pois um trem sem AR, não pode ser rebocado nem mesmo por locomotiva (somente madrinhado – com duas locomotivas), pois os sistemas de freios não funcionam.

### 3.7.1. AR COMPRIMIDO

O ar comprimido para o sistema de freio pneumático é produzido por dois equipamentos de suprimento de ar, localizados no carro reboque R2 . Durante a operação de serviço normal, um sistema de gerenciamento de compressor garante que apenas uma unidade de suprimento de ar opere a cada momento na TUE (4 carros), porque a produção de apenas uma unidade de compressor é suficiente para fornecer ar para todo o trem. No caso de ser necessário um alto suprimento de ar (queda de pressão abaixo de 7,5 bar no tubo do reservatório principal), a segunda unidade pode ser ligada. O sistema de freio do trem trabalha com um faixa de pressão de ar de 10 até 6 bar, sendo que, abaixo desta faixa, existe a proteção que não possibilita a liberação do freio de emergência (somente com a ativação do sistema de *by-pass*).

## 4. DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

O sistema de segurança é um dos principais alvos deste estudo, pois, envolvem os sistemas de engates, freios e toda a metodologia aplicada durante o procedimento de reboque.

Nos próximos itens, serão abordados os funcionamentos dos laços de emergência e de tração, além do sistema de condução no modo degradado.

### 4.1. LAÇO DE EMERGÊNCIA

O laço de emergência é um circuito responsável por recolher todas as informações das diferentes condições que possam exigir uma frenagem de emergência no trem. É denominado laço, pois passa por todos os carros do trem e qualquer interrupção em seu circuito não permite o “fechamento do laço”, ou seja, não permite a alimentação do relé de laço de emergência. A lógica do circuito é de segurança, ou seja, caso o relé de laço de emergência não esteja energizado, o sistema pede uma frenagem de emergência.

A frenagem de emergência é obtida por meio de uma eletroválvula em cada carro, a qual, quando não está energizada, pede diretamente a frenagem máxima.

O laço tem a sua origem na alimentação proveniente do disjuntor 33F01 da cabine de cauda do trem, passando depois por uma saída normalmente fechada do COSMOS, que é o painel ou IHM (interface Homem Máquina), no qual são realizados todos os comandos eletrônicos no trem, pelo maquinista ou operador do sistema. A seguir, o laço decorre pelo relé de cabine ocupada e pelo relé de acoplamento, que na cabine de cauda estarão desenergizados e permitirão a continuidade do laço, por onde a alimentação só poderá chegar pela cabine de cauda do trem, pois nas cabines intermediárias é impedido pelo relé de acoplamento e na cabine de tração é impedido pelo próprio relé de cabine selecionada.

Para dar continuidade ao laço desde a cabine da cauda até à cabine selecionada, é necessário o cumprimento das seguintes condições:

O sistema ATCU não comanda o freio de emergência ou a sua respetiva chave ATCU MODO está na posição ISOLADO ⇒ O pressostato de TDP não detecta pressão baixa. A BCU não comanda o freio de emergência ou a dita saída foi posta em *by-pass* virtualmente pelo COSMOS. ⇒ O sistema de descarrilamento não detecta descarrilamento em nenhum dos eixos. ⇒ O botão EMERGÊNCIA está normalizado. ⇒ O seletor de modo de condução em posição distinta a neutro. ⇒ Manipulador de tração / freio em posição distinta a freio de

emergência. ⇨ Relé de laço de puxadores de alarme energizado. Relé de Homem Morto energizado, ou by-pass LAÇO HOMEM MORTO (sistema que vigia a atenção do maquinista ou operador por meio da necessidade de acionamento de um pedal ou botão em determinados instantes de tempo). ⇨ Chave de reboque não atuada. Relé de *by-pass* de sinal de velocidade zero não atuado.

Existe um caso no qual o relé de acoplamento está desenergizado numa cabine intermediária e o laço de emergência não está aberto.

Um botão virtual na tela de comando da IHM permite ao operador anular o acoplamento elétrico entre duas unidades durante um intervalo de tempo. Este caso será usado para poder tencionar por uma cabine intermediária e verificar se ambas as cabines ficaram acopladas mecanicamente (sem ter que ir a uma cabine de uma extremidade e tencionar da outra cabine). A ativação desta funcionalidade está limitada em um minuto. Depois deste tempo, não é possível tencionar de nenhuma cabine intermediária.

Quando se cumprem todos os condicionantes anteriores, os relés de laço de emergência terão tensão no positivo da bobina.

Em caso de falha em algum elemento do laço de tração, existe um comutador, o *by-pass* LAÇO EMERGÊNCIA, que permite fazer uma ponte na parte do laço ao longo do trem, de modo que os condicionantes que ficam ativos são:

⇨ Sistema ATCU não comanda o freio de emergência, o comutador em posição ISOLADO.  
 ⇨ Botão EMERGÊNCIA normalizada. ⇨ Seletor de modo de condução em posição diferente a neutro. ⇨ Manipulador de tração / freio em posição diferente de freio de emergência. ⇨ Relé de laço de acionadores de alarme energizado (este relé está sempre energizado, pois a ação de um puxador não deve significar a abertura do laço). ⇨ Relé de Homem Morto energizado, ou by-pass de Homem Morto atuado. ⇨ *By-pass* de sinal de velocidade zero não atuado.

Pode-se anular a condição de abertura do laço por BCU por meio de um botão virtual na tela de LAÇO EMERGÊNCIA no IHM do sistema de comando e monitorização (COSMOS). Acontece o mesmo com o sistema de descarrilamento, cuja condição pode ser anulada por meio de outro botão virtual na tela LAÇO EMERGÊNCIA.

Quando uma das condições não é realizada e abra o laço de emergência, este pode ser restabelecido após a normalização de todas as condições de abertura do laço (sem necessidade do trem chegar a parar).



As saídas das BCUs que comandam o freio de emergência poderão ser objeto de um *by-pass* pelo COSMOS. No caso de um mau funcionamento das BCU o operador/maquinista poderá anular esses freios por meio da chave ISOLA FREIO DE SERVIÇO.

Abaixo é apresentado um trecho do fluxograma de ações para o “fechamento do laço de emergência”, no qual está descrito o passo a passo das ações que devem ser executadas em caso de anormalidades. O fluxograma completo está no anexo III.

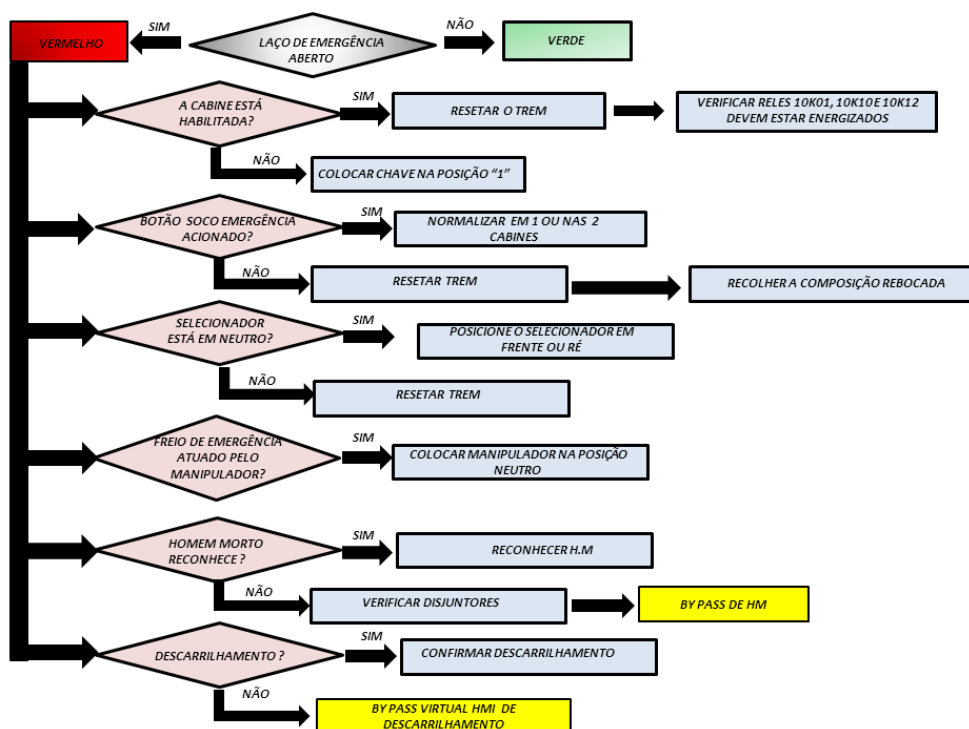


Figura 31: Fluxograma do laço de emergência Parte 1-3.

#### 4.1.1. TESTE DO LAÇO DE EMERGÊNCIA

Como visto anteriormente, o laço de emergência é um circuito responsável por recolher diversas informações referentes a frenagem de emergência do trem e caso o relé de laço de emergência não esteja energizado, o sistema pede uma frenagem de emergência. Por este motivo, uma vez por dia antes de começar o serviço do trem, é realizado um teste para assegurar o correto funcionamento do laço de emergência. O teste verifica se não há nenhuma derivação de positivo nem de negativo nos bornes dos relés do laço de emergência. O fato de

que o relé não pudesse desenergizar, suporia que o laço nunca poderia abrir, pois não se teria freio de emergência no trem, (salvo por meio do botão de emergência, que atua diretamente sobre a eletroválvula de emergência).

Na primeira inicialização do trem do dia, O COSMOS aguarda até que todas as condições que intervêm no laço sejam verificadas e estejam normais. Quando tiver acontecido a primeira inicialização, o COSMOS manda o IHM passar automaticamente para a tela de Teste. O COSMOS começará a realizar o teste quando detectar que o maquinista pressionou o botão INÍCIO.

#### 4.2. LAÇO DE TRAÇÃO

O laço de tração é o circuito responsável por recolher todas as informações das diferentes condições que possam exigir um corte de tração no trem. A lógica do circuito é de segurança, ou seja, para permitir a tração, o relé do laço de tração deve estar energizado.

Os contatos deste relé são utilizados para alimentar a linha de trem - Propulsão selecionada, a qual serve para indicar às TCU se contam com autorização para tracionar.

O laço tem a sua origem na alimentação proveniente do disjuntor da cabine de cauda do trem. Seguidamente, o laço decorre pelo relé de cabine selecionada e o relé de acoplamento, que na cabine de cauda estarão desenergizados e permitirão a continuidade do laço, motivo pelo qual a alimentação só pode chegar da cabine de cauda do trem, porque nas cabines intermediárias é impedido pelo relé de acoplamento e na cabine de tração é impedido pelo próprio relé de cabine selecionada.

Existe um caso no qual o relé de acoplamento está desenergizado numa cabine intermediária e a tração pode ser feita a partir da mesma.

Para dar continuidade ao laço a partir da cabine de cauda até à cabine selecionada, é necessário o cumprimento das seguintes condições:

Pressostato de reboque desenergizado, o que indica que o tubo de reboque não tem pressão, pois não há nenhuma locomotiva rebocando o trem, relés de portas esquerdas e direitas energizados em todos os carros, BCU não comanda corte de tração em nenhum carro, sistema ATCU não comanda corte de tração, ou a sua respetiva chave ATCU MODO está em posição ISOLADO.

O contato de controle do laço de tração do sistema ATCU pode ser objeto de um by-pass de duas formas:

Ativando a chave de *by-pass* de LAÇO TRAÇÃO na cabine selecionada ou ~~ee~~posicionando a chave de ATCU MODO em posição ISOLADO na cabine selecionada.

Os relés 23K01 e 23K02 são indicadores do estado das portas em cada carro. O relé responsável 23K01 estará energizado quando todas as portas do lado esquerdo do carro estiverem fechadas, ao mesmo tempo em que o relé 23K02 indicará o mesmo para as portas do lado direito do carro. As quatro portas de cada um dos lados estão conectadas em série com o seu respectivo relé, de modo que, quando todas as portas estiverem fechadas e bloqueadas mecanicamente, o relé ficará energizado e permitirá o fechamento do laço de tração.

Uma vez aberto o laço, é condição necessária passar o manipulador pela posição deriva, uma vez que a condição responsável pela abertura do laço se tenha restabelecido. Salvo nos casos em que o laço tenha sido aberto por uma BCU ou pelo ATCU.

Se o *by-pass* de tração da cabine selecionada for atuado, serão ignoradas as quatro condições descritas anteriormente. No caso do freio, por meio de um botão virtual na tela de comandos do IHM, pode-se anular a condição de freio de estacionamento aplicado em algum carro. Quando for pressionado, anulará os freios de estacionamento aplicados nesse momento. Se posteriormente, outro freio de estacionamento ficar aplicado e se deseja anular, é preciso voltar a pressionar o botão de anulação de freio de serviço.

Na figura 32 é mostrado um trecho do fluxograma de ações para o “fechamento do laço de emergência”, no qual está descrito o passo a passo das ações que devem ser executadas em casos de anormalidades. O fluxograma completo está no anexo III.

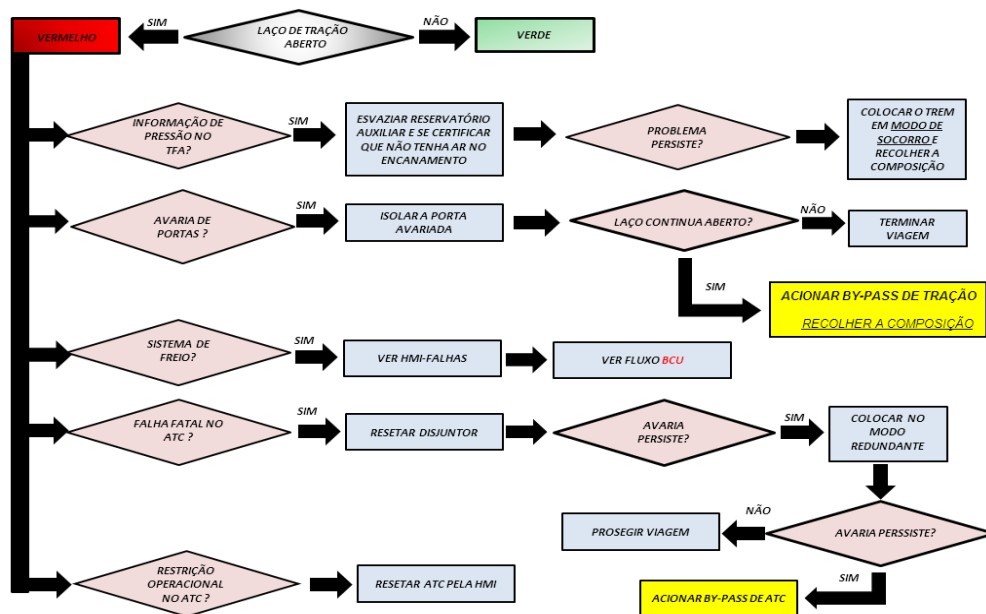


Figura 32: Fluxograma do laço de tração Parte 1-2.

#### 4.3. SISTEMA DE CONDUÇÃO DEGRADADO (MODO SOCORRO)

O denominado “modo socorro” permite tirar o trem da via perante uma das condições excepcionais:

- Falha geral do manipulador de marcha / freio.
- Colapso da rede TCN que não possa ser eludido pelas medidas de segurança e redundâncias operativas próprias da rede e os seus elementos integrantes.

Nos carros M1 e M2 (carros motores), as cabines dispõem de um comutador que gera, de forma manual, a ordem geral de ativação do “modo socorro” de condução. O uso deste comutador só é efetivo na cabine habilitada do trem. Um piloto (sinalizador visual) na cabine indicará que esse modo foi ativado.

As condições excepcionais prévias são cobertas recorrendo à anulação completa da rede TCN, assim como do controle exercido pelo sistema COSMOS sobre o trem. A operação do trem passa para um estado degradado no qual só são mantidas as funções essenciais por meio de circuitos de cabos elementares de apoio (sem intervenção de software).

O uso do comutador de ativação provoca a alimentação da linha de trem “modo socorro” o que provoca:

⇒ Ordem direta para todos os controles de transmissão para passarem a operar em “modo socorro”, ignorando qualquer ordem proveniente de MVB. ⇒ Excita todos os relés de “modo socorro” do trem, o estado da linha de trem é lida e registrada diretamente pela unidade central do registrador do trem no carro R1 (reboque 1).

Por sua vez, com a finalidade de eliminar o COSMOS e suprir as saídas que o mesmo controla, a ativação dos relés de “modo socorro” do trem provoca (pelos seus contatos):

⇒ Energização do contator de cargas se alterna, o qual por sua vez inibe a possibilidade de alimentar o trem por meio de tomada exterior ⇒ Controle direto da desconexão do trem sem nenhuma sequência automática por meio do botão DESLIGA BATERIA.

Conexão direta dos disjuntores quando o botão é acionado. ⇒ Conexão direta das lâmpadas exteriores quando alguma porta estiver aberta. ⇒ Desaperto do freio de estacionamento se existir alguma cabine habilitada no trem ⇒ Inibição das saídas do COSMOS para o teste do laço de emergência. ⇒ Energização direta do relé do laço de puxadores de alarme. ⇒ Conexão da iluminação exterior, dependendo se é um carro de cauda ou um carro com cabine habilitada. ⇒ Desconexão da alimentação de todos os elementos do COSMOS (salvo IHM). ⇒ Ordem de conexão de ambos os pantógrafos, quando se aciona o botão PANTÓGRAFO. ⇒ Inibição da possibilidade de alimentar todas as cargas do trem com um único conversor auxiliar. ⇒ A ordem de conexão / desconexão dos compressores de ar passa a ser controlada diretamente pelo pressostato.

Para poder retirar o trem nessas condições, foram previstas uma série de linhas de trem com cabos que chegam diretamente até o sistema de controle de tração (TCU), até o sistema de controle de freio (BCU) e até o sistema ATCU.

## 5. REBOQUE DE TRENS

Formatado: Recuo: À esquerda: 1,27 cm

O reboque é um recurso utilizado em sistemas ferroviários e rodoviários, no qual existe necessidade de acoplamento de uma unidade a outra, possibilitando a sua retirada e posicionamento em local que não ocacione interferência. No âmbito metroferroviário este termo é conhecido como reboque de trens.

No Brasil ~~existem~~existe mais de 40 empresas de transporte sobre trilhos, cada qual possui seu procedimento interno para realização de reboque, que em grande maioria, são realizados de forma semelhante. A seguir será descrito como é realizado atualmente na CPTM e no Metrô de São Paulo.

### 5.1. REBOQUE NA CPTM

A CPTM possui um Procedimento de Operação (PO) específico para reboque de trens, que além de mostrar a metodologia na qual é realizado, ainda informa todos os meios de segurança necessários. Além deste, também existe um<sup>a</sup> Instrução Técnica (IT), o qual foi elaborado após uma bateria de testes práticos pelas áreas de manutenção e engenharia da companhia.

Um trem rebocado por locomotiva ou por outro trem, estando com usuários, deve ser evacuado na primeira estação operacional, possibilitando aos usuários opções para continuar viagem. A velocidade máxima para reboque de trem com trem deve ser de 20 km/h. Para reboque por locomotiva o maquinista não poderá ultrapassar 50 km/h, obedecendo sempre a codificação de sinalização de bordo.

#### 5.1.1. REBOQUE DE TREM COM TREM

Neste subitem será apresentado de forma resumida o modelo atual do Procedimento Operacional (PO) para reboque entre trens na CPTM [4].

O procedimento é subdividido em dois casos possíveis: trem avariado com a bateria desligada e trem avariado sem avaria de bateria. Em ambos os casos, a ação do CCO será a mesma.

## **PROCEDIMENTO DE ~~OPERACÃO~~ OPERACÃO DA CPTM - REBOQUE ENTRE TRENS SÉRIE 7000**

### **Diretrizes Gerais:**

O trem rebocador (trator) deve ter 100% de tração motora. O sentido de reboque deve respeitar um acento menor ou igual a 1,5%. Sempre que este for maior que 1,5%, o sentido do reboque obrigatoriamente será o de declive.

Sempre que o trem rebocado estiver sendo empurrado, os maquinistas devem manter-se em contato. Caso ocorra qualquer anormalidade, o maquinista do trem avariado deve informar de imediato ao maquinista do trem trator, para que este tome as devidas providências.

Sempre que for acionado o freio de emergência por qualquer um dos trens, o outro maquinista deve ser comunicado imediatamente após a aplicação.

A aproximação do trem rebocador com o trem avariado para a realização de acoplamento mecânico deve ser com cautela, evitando solavancos no momento do acoplamento.

### **Obrigatoriedades do Centro de Controle Operacional (CCO):**

Ao receber a informação do maquinista do trem avariado que este necessita de reboque, define a melhor estratégia operacional, levando-se em consideração as séries dos trens, tipo de avaria e as rampas do trecho, informando ao maquinista do trem avariado em qual sentido o trem será rebocado. ~~Além disso~~ Além disso, deve efetuar contato com as demais equipes operacionais (estação e segurança) para auxiliar no desembarque dos usuários.

### **Obrigatoriedades dos Maquinistas – Trem avariado sem bateria**

#### **Do Trem avariado:**

Para trem metropolitano que não tem tração, sem bateria, porém aplica e libera freio, ao constatar a necessidade de reboque do trem, deve permanecer com o trem parado, e informar ao CCO, aguardando a definição da estratégia operacional a ser adotada. Em paralelo deve emitir avisos orientativos aos usuários (APs). Quando o trem rebocador

chegar ao local, o maquinista do trem avariado auxilia no acoplamento elétrico, mecânico e pneumático entre os trens. Após o acoplamento, deve manter no trem a ser rebocado os comandos na condição normal de operação. Nesta condição haverá controle de freios, portas e som nos salões do trem rebocado. Deverá realizar teste de tração, confirmando acoplamento adequado. Na sequência deverá anular os freios de serviço pela chave isolante de freio de serviço pela cabine comandante do trem avariado. Informar aos usuários através da emissão de APs que o trem será movimentando, permanecendo em alerta para aplicação do freio de emergência, caso necessário.

#### **Do Trem rebocador:**

Para trem metropolitano rebocando trem avariado da mesma série, sem bateria, que não tem tração, com avaria ou não de freios, ao ser informado da necessidade de rebocar trem avariado, deve preferencialmente desembarcar os usuários na próxima estação, caso esteja com passageiros. Se for requisitado no meio do trecho, deverá emitir avisos orientativos aos usuários (APs), informando que rebocará um trem. Quando chegar ao local do trem avariado, deverá isolar o freio de retenção e aproximar-se do trem avariado a uma velocidade inferior a 3 km/h. Com auxílio do maquinista do trem avariado, efetuar o acoplamento elétrico, mecânico e pneumático, realizar de imediato a troca da cabine e efetuar o teste de tração, confirmando um acoplamento adequado. Acionar o botão REBOQUE, na “IHM COSMOS”, efetuar o *BY-PASS* dos laços de tração e freios, realizar teste de alívio e aplicação de freios, após a confirmação com o maquinista do trem avariado ter anulado os freios de serviço do trem avariado, e então religar o freio de retenção, para poder iniciar o reboque do trem avariado.

### **Obrigatoriedades dos Maquinistas – Trem avariado com bateria normal**

#### **Do Trem avariado:**

Para trem metropolitano que não tem tração, com bateria, com avaria ou não de freios, ao constatar a necessidade de reboque do trem, deve permanecer com o trem parado, e informar ao CCO, aguardando a definição da estratégia operacional a ser adotada. Em paralelo emite (APs). Na sequência deverá desligar o trem, por completo, desligando a bateria. Quando o trem rebocador chegar ao local, o maquinista do trem avariado, o auxilia no acoplamento elétrico, mecânico e pneumático entre os trens. Após o acoplamento, deverá



religar o trem, e realizar teste de tração, confirmando acoplamento adequado. Na sequência deverá informar aos usuários através da emissão de APs que o trem será movimentado, permanecendo em alerta para aplicação do freio de emergência, caso necessário.

#### **Do Trem rebocador:**

Para trem metropolitano rebocando trem avariado da mesma série, com bateria, que não tem tração, com avaria ou não de freios, ao ser informado da necessidade de rebocar trem avariado, deve preferencialmente desembarcar os usuários na próxima estação, caso esteja com passageiros. Se for requisitado no meio do trecho, deverá emitir (APs), informando que rebocará um trem. Quando chegar ao local do trem avariado, deverá isolar o freio de retenção e aproximar-se do trem avariado a uma velocidade inferior a 3 km/h. Com auxílio do maquinista do trem avariado, efetuar o acoplamento elétrico, mecânico e pneumático, e realizar de imediato a troca da cabine e executar teste de tração, confirmando um acoplamento adequado. Deverá desligar o trem por completo, acionar o comutador “MODO EMERGÊNCIA”, religar o trem (ligar a bateria), acionar o botão “FECHAR DISJUNTOR”, realizar teste de alívio e aplicação de freios, após a confirmação com o maquinista do trem avariado ter anulado os freios de serviço do trem avariado, e então religar o freio de retenção, para poder iniciar o reboque do trem avariado.

## **5.2. REBOQUE EM OUTRAS EMPRESAS BRASILEIRAS**

Conforme visto anteriormente, cada empresa possui seu próprio procedimento interno para reboque entre trens, que varia de acordo com suas particularidades. Porém, os procedimentos atuais se assemelham, quanto as questões operacionais e de segurança.

A seguir será apresentado um resumo do procedimento operacional de reboque de trens na Companhia do Metropolitano de São Paulo, como exemplo.

O reboque entre trens envolvidos nas atividades de reboque são definidos como Socorrido e Rebocador, e o conjunto formado por eles é denominado comboio.

O centro de controle operacional é o responsável em tomar a decisão de realizar o reboque e montar a estratégia da operação. A decisão pelo reboque é tomada mediante a análise de alguns sintomas apresentados pelo trem: aplicação indevida de freio de emergência; falta de propulsão; desligamento total ou parcial do trem; necessidade de isolar o freios de serviço de 5 ou 6 carros, ou necessidade de isolar 3 a 6 carros, com pelo menos um com freio de

estacionamento isolado. Após a tomada dessa decisão um empregado treinado em reboque presente no local coordenará a operação.

Na preparação para o reboque o CCO define se o trem rebocador irá puxar ou empurrar o trem Socorrido, este trem deve ser evacuado na primeira estação que apresentem condições operacionais.

O CCO deve autorizar o coordenador do reboque a realizar a operação de acoplamento, a aproximação deve ser na menor velocidade possível, sendo necessário o acompanhamento visual do alinhamento dos pinos do engate automático. Para confirmar se o acoplamento foi bem sucedido, o trem rebocador deve realizar um teste em marcha ré. Com o comboio devidamente acoplado, o coordenador deve informar ao CCO que está preparado para movimentação.

Havendo a necessidade de isolamento do freio do trem socorrido por parte do coordenador, somente poderá ser executado com a autorização do centro de controle, após a confirmação da operação o coordenador deverá informar ao CCO que o comboio está em condições de iniciar a movimentação.

A autorização da movimentação do comboio será concedida para o coordenador juntamente com o sentido do deslocamento e o destino. Deve ser assegurada a presença de empregado operativo habilitado para auxiliar a movimentação do comboio.

O posicionamento dos empregados no comboio é fundamental para monitorar uma possível falha ou acidente e atuar prontamente se necessário. No trem Socorrido sempre vai existir um empregado monitorando cada uma das cabines, e no trem Rebocador sempre vai haver o empregado do tráfego na primeira cabine no sentido de operação, sendo puxando ou empurrando.

O funcionário do tráfego que está no trem Rebocador deve iniciar a movimentação do comboio para o destino definido mediante a autorização do CCO. Deve ser mantida uma movimentação suave evitando trancos e variações bruscas de velocidade, atentando para uma frenagem de modo suave. A condução deve ser em modo manual e não deve ultrapassar a velocidade de 20 km/h.

Os empregados operativos habilitados devem, em caso de desacoplamento acidental, atuar nas válvulas do sistema de freio, comunicando imediatamente o centro de controle, para que se seja iniciado novamente o processo de acoplamento para movimentação.

O centro de controle deve atentar às limitações de movimentação do comboio em aclives superiores a 3%. Caso o trem rebocador apresente alguma anormalidade ou limitação no sistema de tração, deverá ser substituído. Caso o trem Rebocador vazio e o trem Socorrido

com freio travado e carregado, não haverá potencia suficiente para vencer o aclave, sendo necessário utilizar outra alternativa de socorro.

### 5.3. SISTEMÁTICA ATUAL DE REBOQUE SÉRIE 7000

Na CPTM existe atualmente uma sistemática de reboque de um trem avariado por outro trem da mesma série e/ou por locomotiva. Em ambas as condições, de acordo com o grau da avaria do trem, os trens permitem o engate/desengate por dispositivos instalados na cabine de comando com necessidade de intervenção do maquinista ou outro funcionário do lado de fora da cabine, para efetuar a operação.

Na grande maioria dos casos, é necessária a atuação dos funcionários nos sistemas externos de freio de cada carro do trem, de forma a isolar os freios de estacionamento e assim permitir o resgate do trem avariado.

#### 5.3.1. REBOQUE TREM COM TREM SEM BATERIA

Neste modo, o reboque é realizado com o trem avariado desligado e o trem rebocador não necessita ser desligado. Porém, o trem avariado fica desprovido de todos os sistemas, inclusive os de conforto (ar condicionado, iluminação e sonorização).

Primeiramente deve-se desligar o trem avariado, acoplar a parte elétrica, mecânica e pneumática das duas unidades, realizar a troca de cabine do trem rebocador (da cabine intermediária para extrema), anular os freios da unidade danificada por meio da chave isolante de freio de serviço a partir da cabine selecionada, atuar sobre o botão virtual REBOQUE na IHM para permitir o reboque, executar o *by-pass* dos laços de tração e de freio do trem rebocador, e a seguir mover o trem de 16 carros.

A figura 33 mostra o acoplamento de trens da série 7000.



**Figura 33: Acoplamento de trens – Série 7000.**

Nesta situação:

- O freio de emergência estará ativo nos dois trens (16 carros), podendo somente ser acionado pela cabine de comando.
- Em caso de desgatar acidental se aplica o freio de emergência em ambos os trens.

### 5.3.2. REBOQUE TREM COM TREM COM BATERIA

Neste modo, o reboque é realizado com os dois trens ligados, porém ambos os trens necessitam serem desligados durante a operação de acoplamento, ficando neste período desprovido de todos os sistemas, inclusive os de conforto (ar condicionado, iluminação e sonorização).

Para realizar o reboque primeiramente deve-se desligar o trem danificado, acoplar a parte elétrica, mecânica e pneumática das duas unidades, realizar a troca de cabine do trem rebocador (da cabine intermediária para extrema), desligar o trem rebocador (recomendável antes de atuar sobre o comutador do modo de emergência), atuar sobre o comutador MODO EMERGÊNCIA a partir da cabine selecionada, atuar sobre o botão LIGA BATERIA do trem rebocador (ativa a unidade danificada), atuar sobre o botão FECHAR DISJUNTOR (fecha o disjuntor da unidade danificada) e então mover o trem de 16 carros.

Nesta situação, e dependendo da falha ocorrida:

- Existirá um ponto de frenagem de serviço nas duas unidades;
- O freio de emergência estará ativo nas duas unidades, podendo ser acionado apenas da cabine selecionada;
- Em caso de desengate acidental se aplica o freio de emergência de forma automática na unidade danificada.

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1 cm, Sem marcadores ou numeração

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Parágrafo da Lista, Espaçamento entre linhas: simples, Sem marcadores ou numeração

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1 cm, Sem marcadores ou numeração

Dependendo do tipo de avaria, pode não ser possível realizar esse modo de reboque.

### 5.3.3. REBOQUE COM LOCOMOTIVA – TREM SÉRIE 7000

Na concepção do projeto do TUE série 7000 também foi previsto o reboque de um trem avariado por locomotiva.

Juntamente com os trens da série 7000, também foram fornecidos adaptadores de engate que permitem o acoplamento destes trens com as locomotivas da CPTM que possuem engates AAR do tipo E. Estes adaptadores devem garantir o engate das porções mecânica e pneumática dos trens com as locomotivas. A figura 34 ilustra o adaptador de engate da locomotiva.

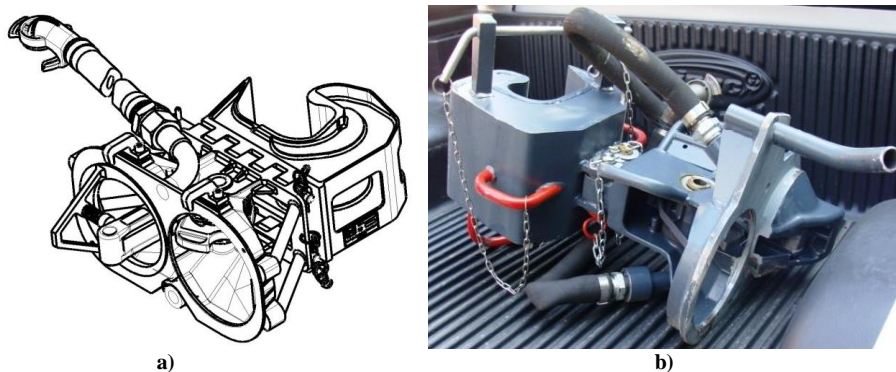


Figura 34: Adaptador de Engate para locomotiva – a) ilustração – Cópia [14] e b) fotografia.

No reboque de um trem de 8 carros por locomotiva, o sistema garante a aplicação e o alívio dos freios de serviço e de emergência do trem pela locomotiva. Caso ocorra o desacoplamento

acidental entre quaisquer carros do trem ou entre o trem e a locomotiva, é aplicada frenagem de emergência no trem e na locomotiva. Caso haja o desacoplamento da locomotiva o freio do trem será aplicado.

O sucesso do reboque do trem avariado por uma locomotiva está cercado de pré-requisitos indispensáveis. O procedimento de operação da CPTM deixa claro que cada máquina deve ser tripulada com dois maquinistas. Os outros itens que são checados em todas as inspeções e revisões das locomotivas são os adaptadores de engate, nos quais é verificado seu funcionamento. Cada locomotiva deve conter um adaptador acondicionado em local adequado. É verificada a presença da talha, item de segurança fundamental para o manuseio do adaptador. A cada uso, o maquinista deve pegar a talha que fica guardada na cabine e prender no suporte. O adaptador fica guardado em um armário próximo à extremidade da locomotiva. Devido o espaço restrito ele é dividido em duas partes, o que auxilia no manuseio. A montagem do adaptador no engate da locomotiva deve ser feita em conjunto pelos maquinistas. E finalmente o engate da locomotiva com o trem deve ser feito com um maquinista operando a locomotiva e outro monitorando ao lado do trem, a aproximação deve ser a uma velocidade de no máximo 5km/h.

No quadro 10 está descrita a rotina de atividades para a instalação do adaptador, e seus respectivos tempos. Esses tempos foram obtidos através de ensaios práticos.

Quadro 10: Tempos de reboque – locomotiva x trem avariado ligado.

ETAPA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO DECORRIDO
1	Tempo de deslocamento da locomotiva até o trem a ser rebocado (adotado menor <i>headway</i> da CPTM)	4 min
2	Retirar a talha da cabine e instalar no suporte a frente da locomotiva no qual está localizado o engate;	1,6 min
3	Retirar a 1ª parte do adaptador do armário e descer à via utilizando a talha;	1 min
4	Retirar a 2ª parte do adaptador do armário e descer à via utilizando a talha;	4 min
5	Retirar a talha do suporte, levar e instalar na outra cabeceira da locomotiva;	1 min
6	Transportar manualmente a 1ª parte do adaptador para a extremidade da locomotiva no qual será montado;	1,5 min
7	Transportar manualmente a 2ª parte do adaptador para a extremidade da locomotiva no qual será montado;	1,5 min
8	Unir as duas partes do adaptador finalizando montagem com as travas dos pinos de união;	1,2 min
9	Levantar o conjunto do adaptador utilizando a talha, encaixar no engate da locomotiva e regular a altura;	3,5 min

10	Engatar as duas mangueiras pneumáticas do adaptador nas mangueiras da locomotiva;	1,4 min
11	Um dos maquinistas deve retornar a cabine da locomotiva;	0,6 min
12	Aproximar a locomotiva para acoplar com o trem;	0,6 min
13	Retirar a talha para guardar na cabine e travar o suporte.	1,8 min
14	Executar abertura e fechamento de registros pneumáticos	4 min
<b>TEMPO TOTAL</b>		<b>31,7 MIN</b>

Para os casos em que o trem a ser rebocado estiver desligado (sem bateria), deverá ser acrescentado um tempo de oito minutos para isolamento do freio de estacionamento em cada truque do trem, ou seja, o tempo passará a ser de **39,7 minutos**, conforme será visto na etapa 3 do quadro 11.

A figura 35 mostra a torneira de reboque por locomotiva.



Figura 35: a) posição da torneira de reboque por locomotiva e b) detalhe da torneira.

Outro fator a ser considerado é o tempo de deslocamento da locomotiva, o qual é prejudicado devido a distância dos pátios de estacionamentos da ocorrência, além do fluxo de trens à frente, ainda mais agravado considerando-se em média 20 trens em operação no horário de pico em cada uma das seis linhas da CPTM. A figura 36 mostra a instalação do adaptador de engate na locomotiva.



**Figura 36: Instalação do Adaptador de Engate para locomotiva.**

#### 5.3.3.1. REBOQUE COM LOCOMOTIVA - TREM LIGADO

Neste modo, o reboque é realizado com o trem ligado. Porém um dos grandes problemas é o tempo elevado do deslocamento da locomotiva até o local do trem a ser rebocado, e dependendo da situação, a impossibilidade de acesso ao local devido ao acúmulo de trens na região da avaria.

Primeiramente deve-se fechar a TDP (torneira B10), abrir o TFA (registro B11), utilizar o engate de transição (adaptador de engate) para acoplar as duas unidades e conectar a tubulação de reboque. Conferir dreno TFA na cauda, ajustar/conferir 90 lbs na locomotiva, isolar o ATCU, posicionar reversor em FRENTE, verificar se o manômetro indica a redução da pressão, aliviar o freio de estacionamento no botão de cabine (IHM) e testar o reboque.

Conforme visto anteriormente, o tempo deste tipo de reboque dura cerca de 31,7 minutos, se considerado o tempo mínimo de deslocamento ao local da avaria, ou seja, o menor *headway* praticado na CPTM (4 minutos)



#### 5.3.3.2. REBOQUE COM LOCOMOTIVA - TREM DESLIGADO

Neste modo, o reboque é realizado com o trem desligado, ficando desprovido de todos os sistemas, inclusive os de conforto (ar condicionado, iluminação e sonorização). Além disso, existe o problema do tempo elevado para o deslocamento da locomotiva, conforme citado anteriormente.

Primeiramente deve-se fechar a TDP (torneira B10), abrir o TFA (B11), utilizar o engate de transição (adaptador de engate) para acoplar as duas unidades e conectar a tubulação de reboque. Abrir torneira de transferência TFA-TDP (B18) na cabine acoplada, conferir dreno TFA na cauda, executar testes de freio, soltar freio de estacionamento de todos os truques e então efetuar o reboque.

Conforme visto anteriormente, o tempo deste tipo de reboque dura cerca de 39,7 minutos, considerando o tempo mínimo de deslocamento ao local da avaria, ou seja, o menor *headway* praticado na CPTM.

#### 5.4. TESTES DE REBOQUE ENTRE TRENS – MÉTODO ATUAL

Não há um procedimento de operação específico de reboque entre trens da série 7000. Desta forma, foram realizadas simulações práticas pelo grupo, em conjunto com a Engenharia de Operação e Engenharia de Manutenção da CPTM.

Cabe ressaltar que atualmente o trem da série 7000, somente permite reboque entre trens com o trem a ser rebocado eletricamente desligado.

Com base nesta informação, os testes práticos foram realizados, os quais serão apresentados nos subitens a seguir.

##### 5.4.1. RESULTADOS DOS TESTES APLICANDO A METODOLOGIA ATUAL DE REBOQUE TREM COM TREM- DA SÉRIE 7000

Foram realizados dois tipos de testes de reboque entre trens, sendo o primeiro com trem avariado desligado e o segundo, com o trem avariado ligado no modo socorro.

#### EMULAÇÃO DO REBOQUE DO TREM AVARIADO DESLIGADO:

No quadro 11 abaixo estão pontuadas as etapas de reboque de trem com trem desligado.

Quadro 11: Tempos de reboque – trem x trem avariado desligado.

ETAPA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO DECORRIDO
1	Tempo de deslocamento do trem rebocador até o trem a ser rebocado (adotado menor <i>headway</i> da CPTM);	4 min
2	Desligar o trem avariado;	0, 3 min
3	Isolar freio de estacionamento do trem avariado (todos os carros);	8 min
4	Acoplar os trens;	0,5 min
5	Efetuar a troca de cabine.	2 min
<b>TEMPO TOTAL</b>		<b>14,8 MIN</b>

#### EMULAÇÃO DO REBOQUE DO TREM AVARIADO LIGADO:

No quadro 12-abixo estão pontuadas as etapas de reboque de trem com trem ligado.

Quadro 12: Tempos de reboque – trem x trem avariado ligado.

ETAPA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO DECORRIDO
1	Tempo de deslocamento do trem rebocador até o trem a ser rebocado (adotado menor <i>headway</i> da CPTM);	4 min
2	Desligar o trem avariado;	0,3 min
3	Acoplar os trens;	0,5 min
4	Efetuar a troca de cabine;	2min
5	Desligar o trem rebocador;	0,3 min
6	Comutar para o modo socorro e ligar o trem.	3min

<b>Tempo Total</b>	<b>10,4 min</b>
--------------------	-----------------

### 5.5. COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DOS DIFERENTES TIPOS DE REBOQUES ANALISADOS

Neste item serão comparados de forma resumida os resultados tempos obtidos nos testes práticos dos diferentes métodos atuais de reboque.

No quadro 13 serão demonstrados todos os tempos que foram emulados durante ~~as~~ diferentes metodologias de reboque analisados.

Quadro 13: Tempos de reboque – comparativo das metodologias.

TIPO DE REBOQUE	TEMPO DECORRIDO
Locomotiva x Trem avariado desligado *	39,7 minutos
Locomotiva x Trem avariado ligado *	31,7 minutos
Trem x Trem avariado desligado	14,8 minutos
Trem x Trem avariado ligado	10,4 minutos
Média Praticada na CPTM **	8,32 minutos

Os tempos expostos acima estão considerando os melhores casos possíveis, ou seja, não desconsidera-se os tempos de deslocamentos dos trens ou locomotivas rebocadoras ao local da avaria. ~~Estes tempos~~ Estes tempos são maiores para as locomotivas, as quais são em menor número e geralmente ficam estacionadas em pátios espalhados ao longo da via.

\* Foram considerados os tempos de deslocamento do menor *headway* praticado atualmente na CPTM, que é de 4 minutos, embora o tempo de deslocamento por locomotiva seja bem superior a este, devido o posicionamento dos pátios de estacionamento e quantidade de locomotiva por linha.

\*\* Esta média foi obtida através de estudos realizados por pesquisas de ocorrências operacionais no sistema SICOM [2], considerando o tempo médio praticado no reboque de trens avariados no período estudado (01/01/2007 a 30/04/2012).

Nos capítulos anteriores, 2 a 5, foram apresentados os dispositivos e metodologias atuais, que embasam todo o projeto DZV – DESEMBARQUE ZERO PARA A VIA. O capítulo 6 apresenta o desenvolvimento do projeto.

## 6. ELABORAÇÃO DO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA – PROJETO DZV

Após a análise criteriosa dos sistemas envolvidos e estudo das metodologias e procedimentos atuais de reboque, foi possível identificar quais as modificações necessárias, bem como os tipos de dispositivos, para então possibilitar a construção dos protótipos iniciais.

As primeiras tentativas foram feitas na análise do software de controle de freio, porém, devido a sua complexidade e nível restrito de acesso pelo fabricante do trem, foi necessário alterar o foco do estudo. As demais implementações foram baseadas em lógica de relés e chaves comutadoras, ou seja, dispositivos inseridos nos circuitos existentes que permitiram a alteração da lógica original do sistema, possibilitando um resultado otimizado, sempre considerando como premissa máxima, a segurança original dos sistemas envolvidos.

Os dispositivos alterados fazem parte dos sistemas de freio e do sistema de engate do trem.

Também foi alvo deste estudo, melhorias nos atuais procedimentos de operação referentes a reboque, tomando cuidado para que as propostas de melhorias não fossem muito diferentes das atuais, uma vez que uma alteração drástica de comportamento ocasionaria grande impacto e correr-se-ia o risco de um resultado negativo na implantação.

**Formatado:** Normal, Nenhum, Recuo: À esquerda: 1,27 cm, Tabulações: 1,5 cm, Direita

### 6.1. ESTUDO DE CASO DA SISTEMÁTICA DE REBOQUE ATUAL

Foram realizados diversos testes com base na sistemática atual de reboque do trem da série 7000, no qual foram encontradas algumas situações não previstas, deixando a operação de reboque atual inviável operacionalmente. O projeto original do trem contempla o modo de reboque por locomotiva e mais dois modos de reboque trem com trem, sendo eles:

- Trem rebocado (avariado) desligado eletricamente;
- Trem rebocado (avariado) ligado.

No primeiro caso, o reboque deve ser efetuado com o trem a ser rebocado (avariado) desligado eletricamente, ou seja, o trem necessita estar totalmente desligado. Este modo de reboque torna-se inviável com usuários dentro, pois o trem desligado fica totalmente sem

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas

**Formatado:** Normal, À esquerda, Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Depois de: 0 pt

**Formatado:** Normal, À esquerda, Espaço Depois de: 0 pt

iluminação, sem sistema de climatização e sem sistema de comunicação com o público (situação de alto nível de estresse para usuário).

Outro ponto levantado no reboque do trem sem bateria é que o sistema atual não contempla a função de alívio do freio de estacionamento do trem a ser rebocado (avariado) e, desta forma, o alívio do freio de estacionamento deve ser feito, obrigatoriamente, de forma manual em todos os truques. Este procedimento demanda um tempo elevado devido a necessidade de efetuar o isolamento local em cada um dos 16 truques do trem avariado, sendo que, um trem de 8 carros da série 7000 possui aproximadamente 170 metros.

De acordo com os testes realizados, o alívio do freio de estacionamento feito de forma manual gera uma situação não prevista, na qual após realizar o alívio do freio de estacionamento e realizar o religamento do trem, o mesmo mostra a informação na IHM que o freio de estacionamento está aplicado, apesar do mesmo não estar aplicado. Esta situação somente é normalizada (informação da IHM com a real aplicação do freio de estacionamento) após realizar o comando de “desaplicar freio de estacionamento” e de “aplicar freio de estacionamento”, respectivamente nesta ordem e com trem ligado.

Além disso, este modo de reboque exige que o trem que está realizando o reboque (trem rebocador) ative a chave *by-pass* do laço de emergência. A ativação desta chave faz com que alguns requisitos de segurança do trem que teve a chave ativada sejam derivados (pressão do encanamento geral, relés dos sensores de descarrilamento, entre outros). Este modo de reboque também necessita que seja ativado o *by-pass* do laço de tração, situação em que alguns outros requisitos são derivados (indicação de portas fechadas, ATCU, entre outros). A ativação dos *by-pass* do laço de tração e do laço de emergência só pode ser realizada com a autorização do CCO, e faz com que o trem que irá realizar o reboque fique sem o controle de alguns sistemas vitais para sua própria operação (sinalização de portas fechadas, pressão de encanamento de ar principal, entre outros). Nesta situação de reboque (trem eletricamente desligado), caso o trem a ser rebocado esteja parado por um longo período de tempo, é possível que o mesmo esteja sem ar. Como o reboque de um trem sem ar necessita da ativação do *by-pass* do laço de emergência no trem que está efetuando o reboque (conforme descrito anteriormente), caso ocorra um desacoplamento acidental o trem que está sendo rebocado pode vir a ficar sem freio, não havendo nem a possibilidade de aplicação do freio de estacionamento. Como o trem que está realizando o reboque está com a chave de *by-pass* ativada, conforme citado anteriormente, este trem não realiza a monitoração automática da pressão de ar. Desta maneira, caso ocorra uma grande queda de ar, o trem que está rebocando

pode vir a ficar sem freio de atrito. Esse modo de reboque somente pode ser realizado com três operadores habilitados e sem passageiros.

Já para realizar o reboque do trem avariado ligado, a sistemática de acoplamento segue os mesmos moldes do primeiro modo de reboque, ou seja, deve-se primeiramente realizar o acoplamento com o trem que vai ser rebocado (avariado) desligado eletricamente. Após o acoplamento, deve-se então realizar o desligamento do trem rebocador e realizar o religamento do trem rebocador com a chave de “tração de socorro” ativada. Após o religamento, o trem efetua o religamento dos 16 carros simultaneamente, possibilitando assim a condução do trem com 16 carros. A funcionalidade deste tipo de reboque é pequena, pois o trem a ser rebocado provavelmente não conseguiu tracionar no modo socorro.

A proposta do reboque de trem com trem (mantendo o trem avariado ligado) acabou esbarrando em algumas dificuldades, sendo uma delas o problema de comunicação entre os trens quando acoplados e o elevado tempo para realizar todos os procedimentos necessários.

- A primeira situação analisada foi o acoplamento de dois trens ligados em condições normais. Nesta condição, há diversos conflitos nas informações dos trens, pois pela lógica de comando do trem, existirão duas cabines habilitadas, sendo uma em cada um dos dois trens de 8 carros. Nesse modo, ambos os trens não permitem o alívio do freio (comando através do manipulador de tração e frenagem) sem a ativação de diversos *by-pass* de suas respectivas unidades, sendo que em algumas situações não há possibilidade de alívio do freio. Existe também o conflito das informações de comandos de portas e dos demais sistemas do trem (climatização, sonorização, entre outros). O acoplamento de dois trens ligados e habilitados gera uma situação de instabilidade, não devendo ser praticado este tipo de acoplamento.

- A segunda situação analisada foi o acoplamento de dois trens em condições de condução diferentes, ou seja, um trem na condição normal de condução e outro trem na condição de “tração de socorro”. Quando o trem está no modo tração de socorro, os sinais enviados para porção elétrica do engate são diferentes dos sinais enviados por um trem em modo de condução normal. O acoplamento do trem nestas situações diferentes resultam em avarias em alguns sistemas do trem (verificado por meio da análise dos esquemas elétricos do trem e de testes práticos). Partindo desta dificuldade de comunicação entre os trens habilitados (trens com cabines ativas), foram identificados todos os sinais de comunicação entre as TUEs. Foram também analisadas as funções destes sinais em cada trem, bem como toda a lógica de freio do trem da série 7000.

## 6.2. REQUISITOS DO PROJETO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA

Para desenvolver o dispositivo DZV, foram elencados alguns requisitos básicos para elaboração no projeto:

- Permitir o reboque do trem com trem em qualquer situação de avaria de tração ou falha no alívio de freio:  
O projeto DZV deve permitir o reboque de trem com trem rebocado em qualquer modo, seja desligado, ligado em modo normal ou ligado em modo socorro. O reboque deve ser possível em qualquer um desses modos através de um procedimento único.

- Fácil implantação:

Os trens da série 7000 são utilizados em cinco das seis linhas da CPTM. Sua disponibilidade operacional é essencial para atender a demanda de viagens e *headway* exigidos pela empresa. Desta maneira, a implantação do DZV deve ser de fácil instalação para não impactar com disponibilidade operacional do trem.

- Facilidade de utilização por parte dos maquinistas e condutores dos trens:

Toda a circulação de trens na malha ferroviária da CPTM é efetuada por maquinistas ou supervisores de tração. Já as manobras nos pátios de manutenção são realizadas por condutores habilitados e treinados. O quadro atual de maquinistas, supervisores de tração e empregados habilitados em realizar a condução e manobra dos trens é da ordem de mais de 1600 empregados e, desta forma, qualquer modificação que envolva a condução do trem deve ser repassado através de treinamentos específicos a todos os envolvidos. Sendo assim, a utilização do DVZ deve ser de fácil aplicação para permitir o rápido treinamento de todos os habilitados.

- Realizar as menores modificações possíveis nos sistemas já existentes no trem:

O trem da série 7000 é um sistema complexo que possui diversos sistemas embarcados. Possui desde sistemas suplementares, como por exemplo, o sistema de CFTV e sistema de detecção e extinção de incêndio, até os sistemas vitais, como o sistema de freios e o sistema de propulsão. Qualquer alteração em um sistema do trem pode vir a gerar

**Formatado:** Normal, À esquerda, Espaço Depois de: 0 pt, Espaçamento entre linhas: simples

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas

**Formatado:** Normal, À esquerda, Espaço Depois de: 0 pt

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Fonte: 6 pt



inconsistências ou instabilidades não previstas no projeto original. A fim de evitar esse tipo de problema, o DZV deve realizar as menores modificações no projeto original do trem.

- Utilizar o sistema *fail safe* (falha segura):

Todo sistema de freio utilizado no sistema metroferroviário deve, obrigatoriamente, obedecer ao requisito de *fail safe*. O sistema de falha segura significa que se o sistema falhar, por qualquer que seja o motivo, ele sempre deve ir para uma situação segura, não colocando em risco os passageiros e o sistema. O estado seguro em um sistema metroferroviário é aquele no qual todos os trens estão parados. O DZV deve atender a esse requisito, realizando a parada automática dos trens envolvidos no reboque em caso de qualquer falha.

- Minimizar a possibilidade de erro operacional em sua utilização:

O reboque dos trens pode ser decorrente de uma situação programada (necessidade de realizar um reboque para fins de manutenção) ou de uma situação não planejada (avaria de material rodante). Para ambos os casos, em especial ao segundo caso, o reboque é realizado sobre um alto nível de estresse. Essa situação pode aumentar a possibilidade de um erro operacional e, desta forma, o DZV deve minimizar a possibilidade deste erro com menor necessidade de intervenções possíveis.

- Sinalizar o seu estado funcional quando em uso:

Todo sistema deve permitir ao seu utilizador a identificação do seu estado funcional. O DZV deve, obrigatoriamente, emitir algum sinal identificando o seu estado funcional quando estiver em uso.

- Otimizar o tempo necessário para efetuar o reboque de trem com trem operacional:

Com os *headways* cada vez menores praticados nas linhas da CPTM, o tempo necessário para efetuar o reboque de um trem com passageiros deve ser o menor tempo possível, pois o tempo total desta operação deve ser somado ao tempo necessário para as tomadas de decisões do CCO em optar na execução do reboque.

- Ativar o modo de reboque por qualquer cabine:

O deslocamento de um trem rebocado pode ser efetuado de duas maneiras: “empurrando” o trem rebocado, ou seja, com trem que está realizando o reboque atrás do trem rebocado;

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Tabulações: Não em 15,24 cm

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,25 cm, Primeira linha: 0 cm

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,25 cm, Primeira linha: 0 cm

“puxando” o trem rebocado, com o trem que está realizando o reboque à frente. A escolha do modo de reboque a ser executado é definido pelo CCO (através do posicionamento do trem na via e da necessidade operacional). Desta forma o DZV deve permitir o acionamento do reboque por qualquer cabine do trem, ou seja, em todos os sentidos de circulação.

- Permitir o reboque do trem totalmente operacional e sem a necessidade de efetuar o desligamento dos trens envolvidos:

Por experiência em ocorrências anteriores, o tempo médio que os usuários conseguem permanecer dentro de um trem sem o ar condicionado ligado até acionarem os dispositivos de segurança é de 3 minutos, principalmente em épocas mais quentes. É essencial que o DZV consiga realizar o reboque do trem com todas as suas funcionalidades, evitando assim tumultos durante o reboque.

### 6.3. SÍNTESE DO PROJETO DESEMBARQUE ZERO PARA VIA

A primeira proposta levantada para realizar o reboque de um trem foi realizar o acionamento do alívio de freio do trem avariado por meio de um *train line* que, realizasse o alívio do freio de emergência em todos os carros pelas válvulas de isolamento do freio de serviço. Foi elaborado um croqui, porém a proposta foi rapidamente abandonada por não permitir uma falha segura, pois em caso de alguma falha, poderia ocorrer o alívio do freio de forma insegura, mesmo adicionando diversos aterramentos no *train line*.

Partindo então do conceito de falha segura já existente no trem (concepção do freio do trem), no qual o alívio do freio de emergência é condicionado pelo fechamento do laço de emergência (conforme representação esquemática conforme figura 37), foi analisada a possibilidade de se implementar no sistema atual do reboque de trem com trem, por meio de uma lógica de relés e chaves comutadoras.

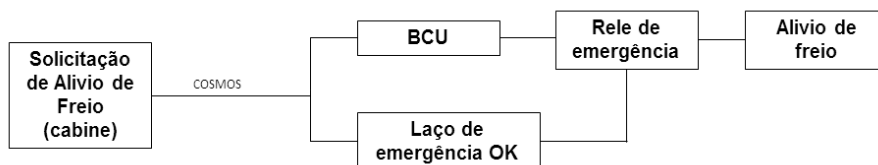


Figura 37: Diagrama básico em blocos do sistema geral de freio.

**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,25 cm, Primeira linha: 0 cm

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas

**Formatado:** Fonte: 12 pt

**Formatado:** Normal, Nenhum, Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas, Tabulações: Não em 1,5 cm

O alívio do freio ~~resumi-se~~<sup>resume-se</sup>, basicamente, ao fechamento do laço de emergência e ao envio de um sinal de alívio (sinal proveniente da BCU – figura 35). Um trem operacional possui oito BCUs, sendo uma em cada carro. Em caso de falha de mais de 25% das BCUs (mais de duas em um trem), a lógica de freio do trem não permite o alívio do freio de emergência. Nesta vertente, foi identificada a possibilidade de se “injetar” um sinal proveniente do trem rebocador (trem que irá realizar o reboque) no trem avariado. Desta forma, o trem que irá realizar o reboque injeta o sinal de laço de emergência “OK” no trem avariado, permitindo neste a energização do relé de emergência (estágio de energização do relé de emergência concluído).

Nesta situação, como a eletroválvula de emergência já está com alimentação até o relé de emergência, quando este se energiza, o alívio do freio de emergência no trem avariado é realizado. Este alívio acontece, pois a linha de comando já está alimentada no trem avariado (considerando o estudo de caso - trem ligado).

Para o caso do trem avariado desligado, ou caso haja qualquer avaria na linha de comando da eletroválvula de emergência (desarme do disjuntor, curto-circuito na linha de comando, entre outros), o alívio do freio não acontece, pois a linha de alimentação da válvula de emergência não está alimentada. Neste caso, é necessária a alimentação da linha de comando de isolamento do freio de serviço. Este comando também é obtido através do trem rebocador, por meio do comando de isolamento do freio de serviço (acionamento da chave de isolamento de freio de serviço). O comando energiza o relé da linha de comando da válvula de isolamento de freio. Porém, este isolamento só é possível no caso de uma avaria na BCU ou se a mesma estiver desligada eletricamente (seu contato é normalmente fechado quando desligada eletricamente). Desta forma, foi inserido na elaboração deste projeto, o desligamento forçado das BCUs (no caso do trem avariado ligado), simulando uma situação de trem desligado. Para o trem desligado, as BCUs já estão desligadas eletricamente. Nesta situação o trem avariado consegue realizar o alívio do freio de emergência por meio do comando de isolamento de freio de serviço (sinal proveniente do trem rebocador), sinal que executa o alívio através da válvula de isolamento de freio.

Já para o trem ligado (situação mais estudada para este projeto), caso haja uma avaria na válvula de freio de emergência, o alívio do freio não será prejudicado, sendo possível executar o alívio através da válvula de isolamento de freio. Desta forma, existe redundância na solicitação do alívio do freio de emergência.

Com os dois sinais provenientes do trem rebocador (sinal do laço de emergência "OK" e sinal de isolamento de freio de serviço), foi confirmado por meio de testes funcionais o alívio do freio de emergência em qualquer situação (trem ligado ou desligado). Primeira etapa do projeto - alívio de freio realizado com sucesso.

A informação no IHM da situação do laço de emergência do trem rebocado não se altera com a sinalização vinda do trem rebocador, conforme pode ser verificado na figura 38.



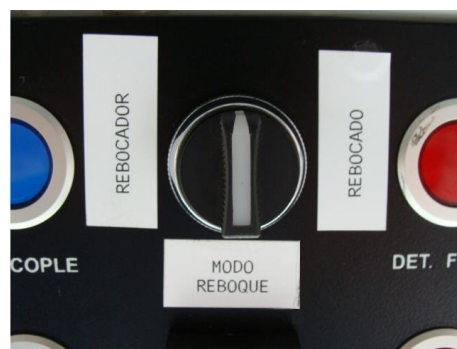
**Figura 38: Laço de emergência aberto.**

O segundo passo foi, por meio da identificação da comunicação dos pinos da porção elétrica, realizar a interrupção dos sinais de comunicação não necessários entre os dois trens envolvidos no reboque (trem rebocador e trem a ser rebocado). Foram isolados os pinos da porção elétrica e desligada a saída do repetidor dos sinais de MVB. Os sinais de *ETHERNET* também foram interrompidos para se evitar qualquer possibilidade de ocorrer problemas no sistema de CFTV. Foram mantidos os sinais de comunicação do laço de emergência e o sinal de isolamento de freio de serviço. Houve também a necessidade de se inserir novas comunicações: sinalização da efetivação do alívio de freio e sinal de comando.

Com o isolamento dos pinos, houve a interrupção da sinalização de acoplamento dos trens e, desta maneira, surgiu o problema de não haver nenhuma sinalização entre os trens que pudesse identificar um possível desacoplamento durante o reboque e por consequência, não realizar o freio de forma automática nos dois trens. Porém esta situação deve ser considerada, embora seja baixa, de ocorrer um desacoplamento acidental e, não havendo a aplicação imediata de freio de emergência em ambos os trens, ocorrer um choque entre os mesmos. Ainda nesta situação citada, a aplicação de freio de emergência no trem que está sendo

rebocado só seria possível na cabine habilitada do trem avariado e, ainda sim, com o mesmo estando ligado.

Para resolver esta inconsistência, foi implementado um circuito com uma chave de duas posições, sendo uma posição para o trem rebocador e outra para o rebocado (figura 39).



**Figura 39: Chave de reboque DZV – Modo Rebocador e Modo Rebocado.**

As chaves foram instaladas nas cabines líderes dos trens e realizam o corte do laço de emergência do trem rebocador, fazendo com que o mesmo necessite estar acoplado com outro trem que esteja com sua chave de reboque ativa (posição para ser rebocado) para realizar o fechamento do laço de emergência. Como o sinal de laço de emergência “OK” parte do trem rebocador para o trem avariado (laço de emergência derivado), havendo o desacoplamento dos trens, o laço de emergência se rompe e imediatamente os dois trens aplicam a frenagem de emergência de forma automática, sem intervenção dos condutores/maquinistas.

Também foi incorporada a funcionalidade de realizar a aplicação de freio de emergência em ambas as cabines do trem avariado (sem a necessidade de estar habilitada), por meio da implantação de um bloco de contato no botão soco de emergência da cabine e da passagem do sinal do laço de emergência derivado, sendo que, com esta implementação, tornou-se possível a aplicação do freio de emergência a partir da cabine que está com a chave de reboque acionada. O botão soco de freio de emergência da cabine habilitada, quando acionado, realizava a parada do trem também pelo aterramento da linha de alimentação do relé de emergência. Esse aterramento do botão, quando acionado, é mais rápido que a lógica de relés implementados e, desta forma, foi efetuado o desligamento deste aterramento através da chave de reboque. Com isso, quando a chave está na posição de rebocado, esse aterramento é eliminado. Nas demais posições da chave de reboque (neutro e rebocador) este aterramento se

mantêm. O acionamento do freio de emergência por qualquer um dos dois trens envolvidos no reboque resulta na aplicação do freio de emergência em todo o comboio (16 carros). Após a normalização do botão soco, o alívio de freio também é realizado em todos os 16 carros.

Nos testes de elaboração do protótipo foi verificado que durante o reboque, em todos os casos do projeto original, não há o monitoramento da pressão do encanamento principal do trem avariado, sendo que desta maneira, o reboque do trem pode ser efetuado com o trem sem ar (situação de risco), no qual em caso de desacoplamento acidental o trem rebocado pode vir a não efetuar a aplicação de freio de emergência.

Para garantir que o reboque não seja realizado sem a pressão mínima de ar, foi instalado no primeiro protótipo um pressostato de monitoramento da pressão no encanamento principal de ar, para o reboque de trem com trem. Porém, no protótipo final, foi avaliada uma proposta que evitaria a necessidade de instalar esse pressostato. A proposta consiste na obrigatoriedade de se manter abertas as torneiras dos engates das cabines líderes do trem série 7000, pois, nesta condição, após o acoplamento, o trem rebocador realiza a alimentação pneumática do trem avariado (caso o mesmo esteja com pressão inferior ao trem rebocador). Foram analisadas as condições destas torneiras (figura 40) permanecerem abertas, sendo que não há nenhum prejuízo, pois existe uma válvula de retenção no acoplamento do engate, permitindo assim que o sistema não perca a pressão de ar.



**Figura 40: Torneira dos engates das cabines líderes.**

Ao realizar a alimentação do trem avariado, caso a pressão do trem rebocador venha a ficar abaixo de 6 bar, o laço de emergência do trem é interrompido automaticamente pelo trem rebocador, não gerando desta forma uma situação de risco. Outra forma de garantir o reboque seguro é o monitoramento da pressão do encanamento principal através do manômetro já

existente nas cabines dos trens, função já desempenhada pelo maquinista envolvido na operação.

Foi inserido também no projeto DZV um relé em paralelo ao relé de emergência, com o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema, visto que ocorrendo a avaria em algum dos oito relés de emergência do trem acarretaria na impossibilidade de se efetuar o reboque. O relé instalado possui mais uma função vital, pois é através das informações dos estados de todos os relés instalados, que é retirada a informação para os operadores de ambos os trens sobre a liberação do freio do trem avariado, ou seja, condição para efetuar o reboque. O alívio do freio de emergência do trem avariado acontece antes do alívio do freio do trem que está realizando o reboque, permitindo desta maneira a realização de um reboque suave e com menores solavancos. Como a lógica principal do freio de emergência foi mantida, em caso de uma falha no circuito de reboque, o trem aplica automaticamente freio de emergência e não possibilita seu alívio. Neste caso, o reboque somente poderá ser efetuado com locomotiva e sem passageiros.

Foi instalado um sinalizador luminoso nas cabines líderes para identificar o laço de reboque fechado, ou seja, este sinal luminoso indica que o freio do trem rebocado está aliviado e pode ser efetuado o rebocamento.

A figura 41 mostra o diagrama funcional do laço de emergência do trem avariado após a implantação do projeto DZV (vide diagrama original no Anexo III).

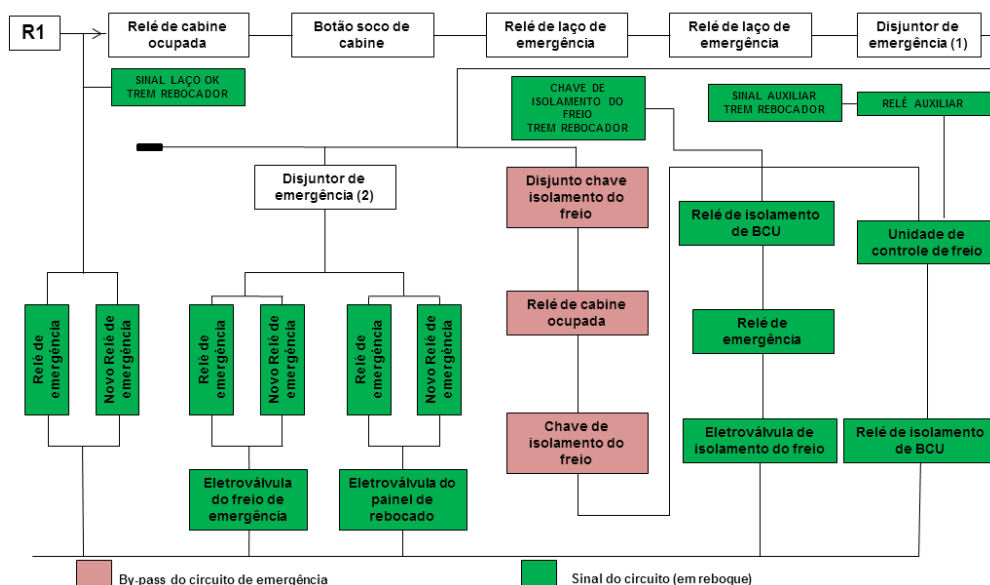


Figura 41: Diagrama em blocos – M1 Comando Ativo M1 – Circuito de Emergência Modificado.

6.4. DISPOSITIVOS IMPLEMENTADOS

O protótipo final foi elaborado utilizando os equipamentos já existentes no trem (eletroválvulas do freio), consistindo-se assim na:

- Instalação de oito relés de para o laço emergência (um por carro):

Os relés do laço de emergência foram instalados no armário C1 dos carros motores e dos carros reboques no armário C3, conforme figuras 42 e 43.

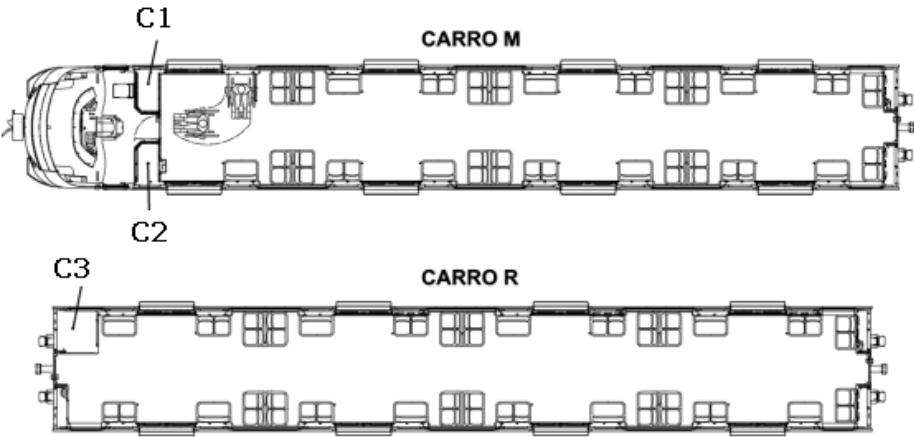


Figura 42: Distribuição dos armários - Cópia de [26].

Formatado: Normal, Nenhum, Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas, Tabulações: Não em 1,5 cm

Formatado: Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas

Formatado: Fonte: 12 pt

Formatado: Recuo: Primeira linha: 0 cm

Formatado: Sublinhado

Formatado: Sublinhado



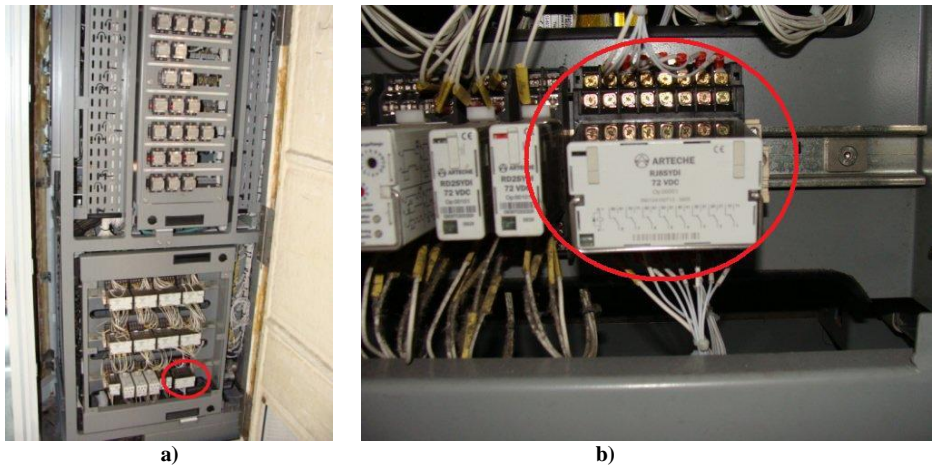


Figura 43 ~~a-e~~ **a) p**anel do laço de emergência – carro motor e **b)** detalhe da instalação do relé.

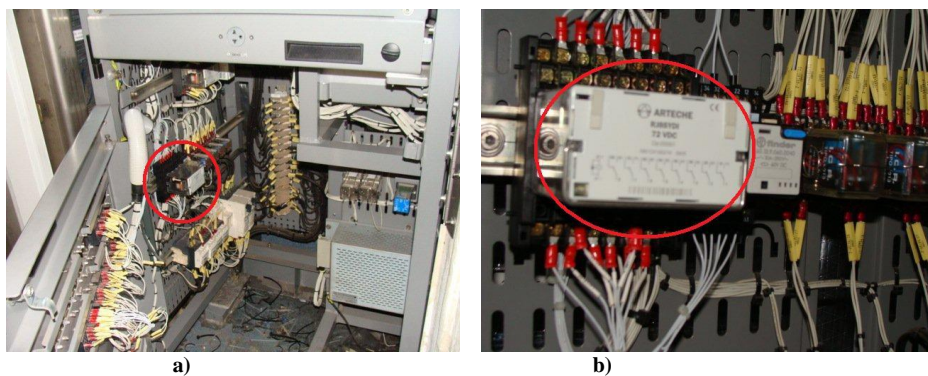


Figura 44 ~~a-e~~ **a) p**anel do laço de emergência – carro reboque e **b)** detalhe da instalação do relé.

- Instalação de oito relés auxiliares:

Os relés do laço auxiliares foram instalados no armário C2 dos carros motores e dos carros reboques foram instaladas no armário C3, conforme figuras 45 e 46.

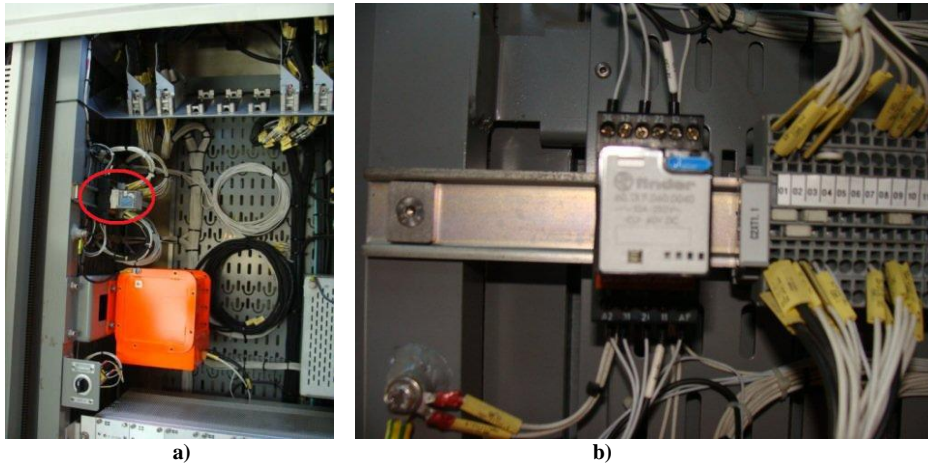


Figura 45-a e b: a) Painel do laço auxiliar - carro motor e b) detalhe da instalação do relé.

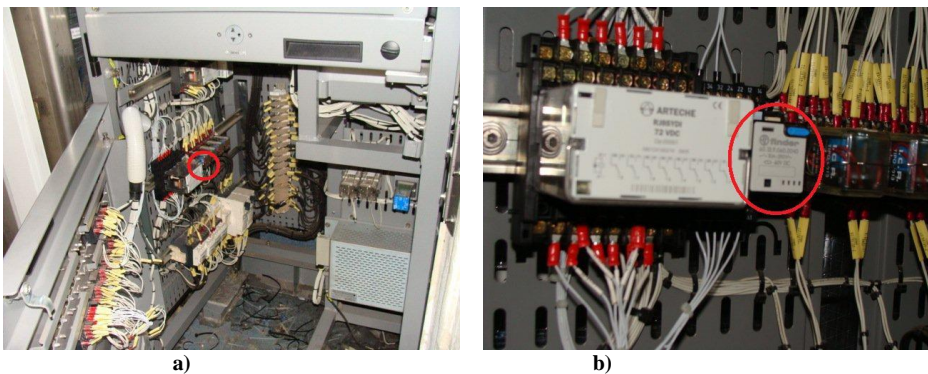


Figura 46-a e b: a) Painel do laço auxiliar - carro reboque e b) detalhe da instalação do relé.

- Modificação da porção elétrica nas cabines líderes com a inibição de vários pinos:

Formatado: Sublinhado

Para execução dos testes funcionais, foram inibidos os contatos da porção elétrica com o uso fita isolante. A retirada dos pinos não foi feita por se tratar de um protótipo.

Na figura 47 pode ser vista a porção elétrica já com os pinos isolados.

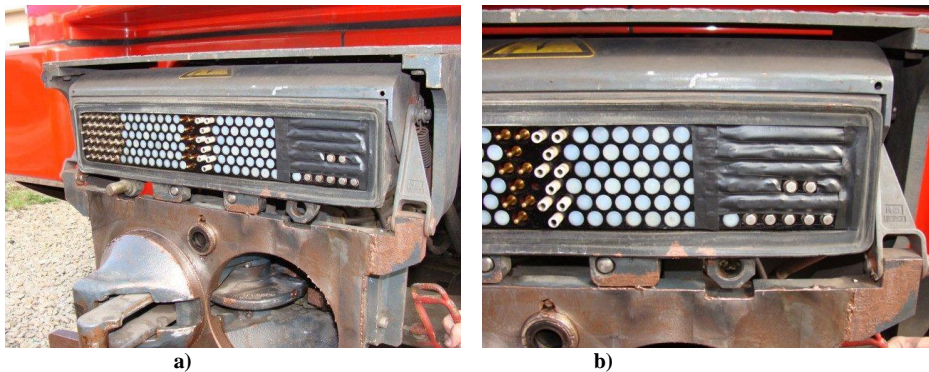


Figura 47-a-e-b: a) Instalação de proteção na porção elétrica e b) detalhe da proteção instalada.

- Instalação de uma chave comutadora (de duas posições) por cabine líder:

Formatado: Sublinhado

A chave comutadora “DZV” foi instalada no painel superior da cabine de comando, na qual já se encontram outras chaves de *by-pass* e outros botões de comando do trem (botões de uso eventual). No painel original há dois orifícios livres, no qual as chaves e os sinalizadores foram instalados. As figuras 48, 49 e 50 ilustram a chave instalada.

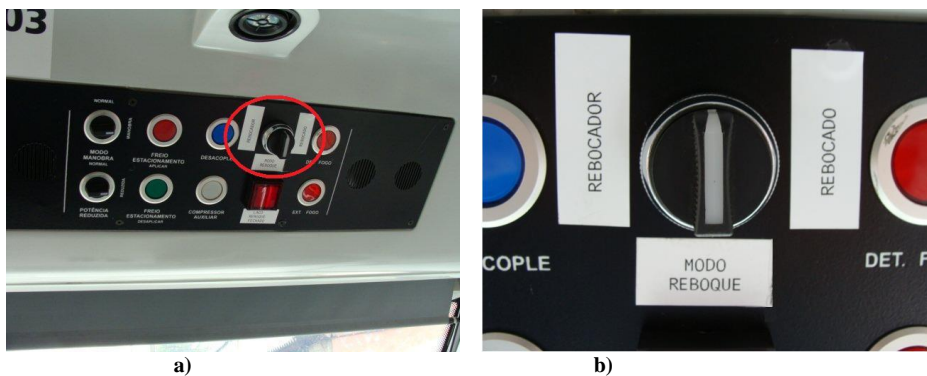


Figura 48-a-e-b: a)eb)Chave comutadora de duas posições DZV e b) detalhe da chave DZV.

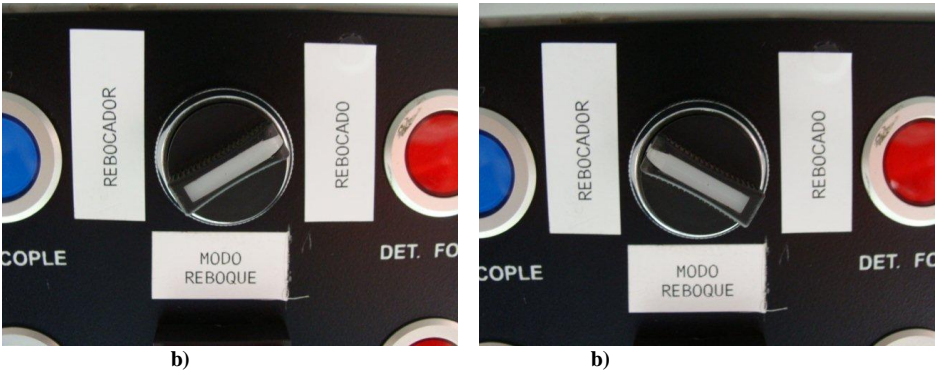


Figura 49: Chave DZV – a) posição rebocado e b) posição rebocador.



Figura 50: Painel com a configuração original.

- Instalação de um sinalizador luminoso led por cabine líder:
- Responsável por informar ao maquinista sobre a positivação da função DZV ativa (luz acesa), o que indica que o reboque poderá ser efetuado com sucesso (figura 51).

Formatado: Sublinhado

Formatado: Sem sublinhado

Formatado: Recuo: À esquerda: 1,27 cm, Sem marcadores ou numeração

Formatado: Sem marcadores ou numeração



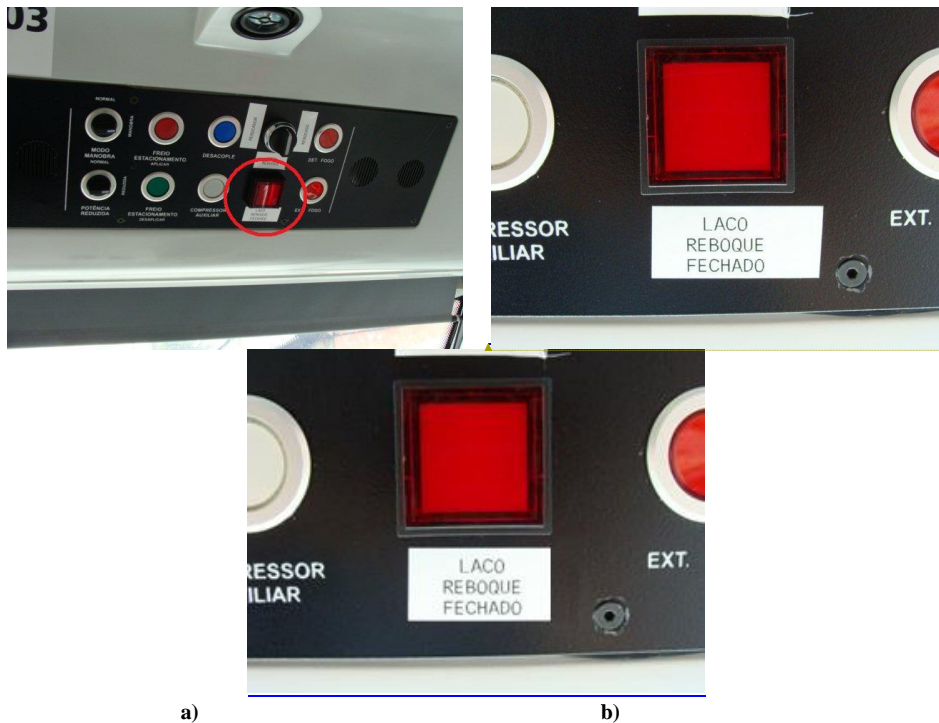


Figura 51-**a e b**: **a)** Sinalizador luminoso – DZV ativo nas cabines líderes e **b)** detalhe do sinalizador DZV ativo.

- Utilização de linhas reservas do *train line* do trem:

O trem da série 7000 possui diversos *train line* reservas. Para o desenvolvimento do projeto foram utilizados alguns desses reservas, a fim de aperfeiçoar a instalação do circuito e manter o padrão do trem. As figuras 52 e 53 mostram o *train line* na sua situação original e após a sua utilização na régua de borne, para o desenvolvimento do projeto DZV.

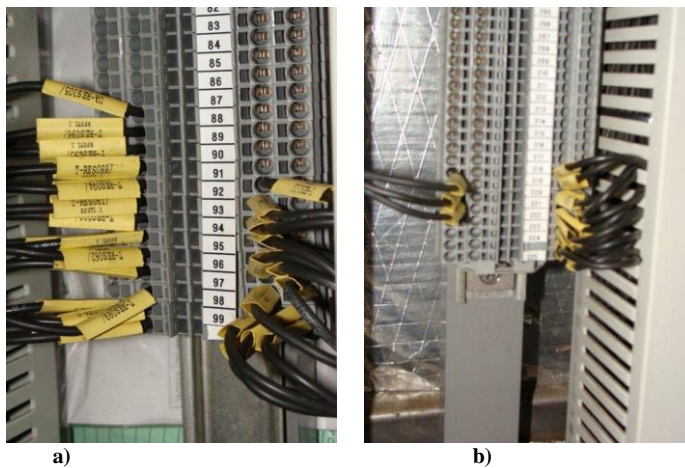
Formatado: Fonte: Times New Roman

Formatado: Sublinhado

Formatado: Sublinhado



Figura 52: Linhas reservas do train line – original.



a)

b)

Figura 53 a e b: Linhas reservas do train line utilizadas no projeto – [a\)](#) carro motor e [b\)](#) carro reboque.

## 6.5. NOVO PROCEDIMENTO OPERACIONAL PROPOSTO

Conforme visto anteriormente, o projeto DZV prevê alterações na sistemática atual de reboque entre trens, a qual sugere a criação de novo procedimento de operação.

Para a criação do novo PO, foi tomado o cuidado de não alterar a metodologia atual existente, evitando grandes impactos junto ao corpo técnico-operacional da empresa e um resultado negativo em sua fase mais crítica, que é a implantação.

**Formatado:** Fonte: 12 pt

**Formatado:** Normal, Nenhum,  
Tabulações: Não em 1,5 cm

A maior vantagem deste novo procedimento é a diminuição da quantidade de intervenções dos maquinistas nos sistemas durante o processo de reboque.

A seguir será mostrado de forma resumida o novo procedimento operacional proposto.

### **Procedimento Operacional da CPTM - Reboque entre trens – Projeto DZV**

O trem rebocador deve ter 100% de tração motora. O sentido de reboque deve respeitar um acline menor ou igual a 1,5%. Sempre que este for maior que 1,5%, o sentido do reboque obrigatoriamente será o de declive.

Durante o reboque, os maquinistas devem manter-se nas cabines comando e manter contato com o CCO. Em caso de anormalidades, o maquinista do trem avariado deve informar de imediato o CCO, o qual informa ao maquinista do trem trator para que este tome as devidas providências.

Sempre que for acionado o freio de emergência em qualquer um dos trens, o freio atuará de imediato em ambos os trens.

A aproximação do trem rebocador com o trem avariado para a realização de acoplamento mecânico deve ser com cautela, freando de forma suave, evitando solavancos no momento do acoplamento.

### **Obrigatoriedades do CCO – Centro de Controle Operacional:**

Ao receber a informação do maquinista do trem avariado sobre a necessidade de reboque, define a melhor estratégia operacional, levando-se em consideração as séries dos trens próximas ao trem avariado, tipo de avaria e as rampas do trecho, informando ao maquinista do trem avariado qual sentido será rebocado.

### **Obrigatoriedades do Maquinista:**

#### **Do Trem avariado:**

Para trem metropolitano que não tem tração, porém aplica e libera freio, ao constatar a necessidade de reboque do trem, permanece com o trem parado, e informa ao CCO, aguardando a definição da estratégia operacional a ser adotada. Em APs aos usuários.

Quando o trem rebocador chega ao local, o maquinista do trem avariado aguarda o procedimento de acoplamento automático. Após o acoplamento, deve virar a chave DZV para a posição 2 (rebocado), e aguardar a confirmação do maquinista do trem rebocador que a luz indicativa de reboque DZV esta acessa, ou seja, que o processo de reboque está pronto para ser realizado. Na sequência deverá informar aos usuários do trem avariado, através da emissão de APs, que o trem será movimentando.

#### **Do Trem rebocador:**

Para trem metropolitano rebocando trem avariado da mesma série, que não tem tração, com avaria ou não de freios, ao ser informado da necessidade de rebocar um trem avariado, deve preferencialmente desembarcar os usuários na próxima estação, caso esteja com passageiros, ou se for requisitado no meio do trecho, deverá emitir APs, informando que rebocará um trem. Quando chegar ao local do trem avariado, deverá isolar o freio de retenção e aproximar-se do trem avariado, a uma velocidade inferior a 3 km/h, freando suavemente, e então efetuar o acoplamento automático. Após o acoplamento, o maquinista do trem rebocador deve virar a chave DZV na posição 1 (rebocador). De imediato a luz indicativa acenderá (informando que o laço está fechado), indicando que o sistema DZV esta funcionando corretamente e o trem pode ser tracionado com total segurança. Nesta condição haverá controle de portas, ar condicionado e som nos salões do trem rebocado. O trem rebocador continuará normal. A velocidade de reboque deverá ser de no máximo 20 km/h, para evitar solavancos. Realizar as paradas de forma suave, utilizando os níveis mínimos de freio e, em caso de urgência, realizar a parada de emergência (botão ou alavanca).

Se comparado ao atual procedimento de reboque entre trens, vide item 5.1, é notória a quantidade reduzida de interações por parte do maquinista do trem rebocador e do trem rebocado. O procedimento por parte do CCO permanece o mesmo, exceto pela facilidade na adoção de estratégias operacionais, pois qualquer trem que estiver mais próximo poder realizar o procedimento de reboque, agilizando muito este processo.

#### 6.6. TESTE REAL CONTROLADO

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 0 cm, Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas, Tabulações: 15,24 cm, Direita + Não em 1,5 cm



Neste subitem serão mostrados os tempos obtidos com a implantação do projeto DZV em um trem. O teste foi realizado no trem protótipo DZV (trem com os dispositivos instalados) em uma linha de pátio da manutenção, de modo a não interferir na circulação operacional.

No quadro 14 estão pontuadas as etapas do teste e respectivos tempos.

Quadro 14: Tempo de Reboque – Projeto DZV.

<u>ETAPA</u>	<u>DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE</u>	<u>TEMPO DECORRIDO</u>
<u>1</u>	<u>Tempo de deslocamento do trem rebocador até o trem a ser rebocado (adotado menor headway da CPTM);</u>	<u>4 min</u>
<u>2</u>	<u>Acoplar os trens;</u>	<u>0,5 min</u>
<u>3</u>	<u>Acionar a chave comutadora DZV em ambos os trens e iniciar o reboque.</u>	<u>0,1 min</u>
<u>TEMPO TOTAL</u>		<u>4,6 MIN</u>

O tempo prático de reboque do projeto DZV é de 4,6 minutos (4 minutos e 36 segundos), o qual já engloba o tempo do menor headway praticado na CPTM (4 minutos no horário de pico). A diminuição do headway refletirá na redução do tempo de reboque do projeto DZV.

Durante a realização dos testes, foram emuladas avarias em ambos os trens. Em todas as emulações foi possível realizar o reboque sendo mantido o tempo apurado.

## 6.7. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A implantação do projeto DZV traz inúmeras vantagens com relação aos atuais métodos de reboque.

A seguir estão elencadas as principais vantagens:

- ✓ Fácil implantação;
- ✓ Facilidade de utilização por parte dos maquinistas dos trens;
- ✓ Realizar as menores modificações possíveis nos sistemas já existentes no trem;
- ✓ Utilizar o sistema de *fail safe* (falha segura);
- ✓ Minimizar a possibilidade de erro operacional em sua utilização;

**Formatado:** Tabulações: 15,24 cm, Direita + Não em 1,5 cm

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Duplo

- ✓ Sinalizar o seu estado funcional quando em uso;
- ✓ Otimizar o tempo necessário para efetuar o reboque de trem com trem operacional;
- ✓ Ativação do modo rebocado por qualquer cabine.

Além das vantagens operacionais, a implantação do projeto DZV também oferece vantagens técnicas em sua instalação:

- ✓ Implementação baseada em relés;
- ✓ Inserção de cabos sem alterar o projeto;
- ✓ Comportamento do laço para 16 carros;
- ✓ Sinais conhecidos – *Train line*.

No quadro 15 estão demonstradas as vantagens e desvantagens técnicas e operacionais dos diferentes tipos de reboques possíveis, incluindo o projeto DZV.

Quadro 15 – Vantagens e Desvantagens dos modos de reboque.

<u>TIPO DE REBOQUE</u>	<u>VANTAGENS</u>	<u>DESVANTAGENS</u>	<u>TEMPO DE REBOQUE</u>
<u>Reboque por locomotiva Trem avariado ligado</u>	<u>Dois níveis de freio no rebocado (aplicação pela locomotiva)</u>	<u>Tempo para realização de reboque / Sem aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado / Necessita de energia da rede aérea</u>	<u>31,7 min</u>
<u>Reboque por locomotiva Trem avariado desligado</u>	<u>Dois níveis de freio no rebocado (aplicação pela locomotiva) / Não necessita de energia da rede aérea</u>	<u>Trem avariado sem sistema de ar condicionando / Tempo para realização de reboque / Sem aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado</u>	<u>39,7 min</u>
<u>Reboque trem com trem Trem avariado ligado Método atual</u>	<u>Dois níveis de freio (aplicação somente pela cabine de condução do trem rebocador)</u>	<u>Necessidade de desligar o trem rebocado antes do acoplamento / Necessidade de desligar e ligar o trem rebocador / Não permite aplicação de emergência pelo trem rebocado</u>	<u>10,4 min</u>
<u>Reboque trem com trem Trem avariado desligado Método atual</u>	<u>Quantidade mínima de interações no sistema</u>	<u>Trem rebocado sem sistema de ar condicionando / Não permite aplicação de emergência pelo trem rebocado / Necessidade de ativar <i>by-pass</i> no trem rebocador / Necessita de energia da rede aérea</u>	<u>14,8 min</u>

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 1,9 cm, Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas, Sem marcadores ou numeração

**Formatado:** Recuo: À esquerda: 0,63 cm, Espaçamento entre linhas: simples, Tabulações: 1,5 cm, Direita

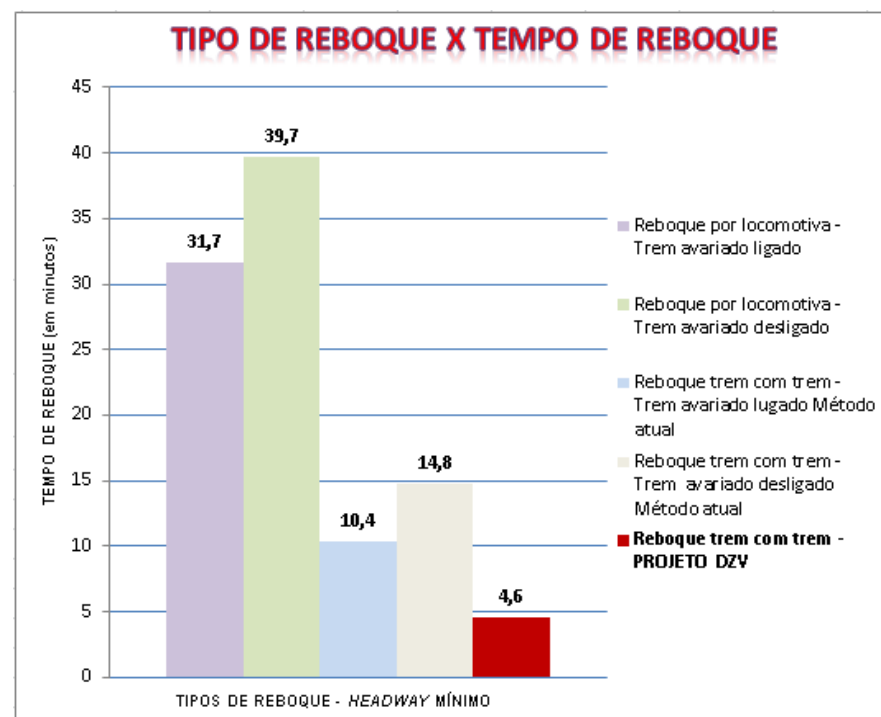
**Formatado:** Fonte: 6 pt

**Formatado:** Espaçamento entre linhas: Duplo

**Formatado:** Fonte: 5 pt

Reboque trem com trem <b>PROJETO DZV</b>	<a href="#">Quantidade mínima de interações no sistema / Não necessita ativar <i>bypass</i> no trem rebocador / Aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado</a>	<a href="#">Necessita de energia da rede aérea</a>	<a href="#">4,6 min</a>

No gráfico da figura 54 são exibidos os tempos de realização de reboques de acordo com os tipos de reboques.



**Figura 54:** Gráfico comparativo - Tempo de reboque com deslocamento mínimo.

Analisando o gráfico da figura 54, é notório que o tempo de reboque realizado através da metodologia DZV é bem menor que os demais métodos atuais. Ainda assim, o tempo emulado no projeto DZV considerou um tempo de deslocamento médio de 4 minutos, o qual é obtido do menor *headway* atual praticado na CPTM.

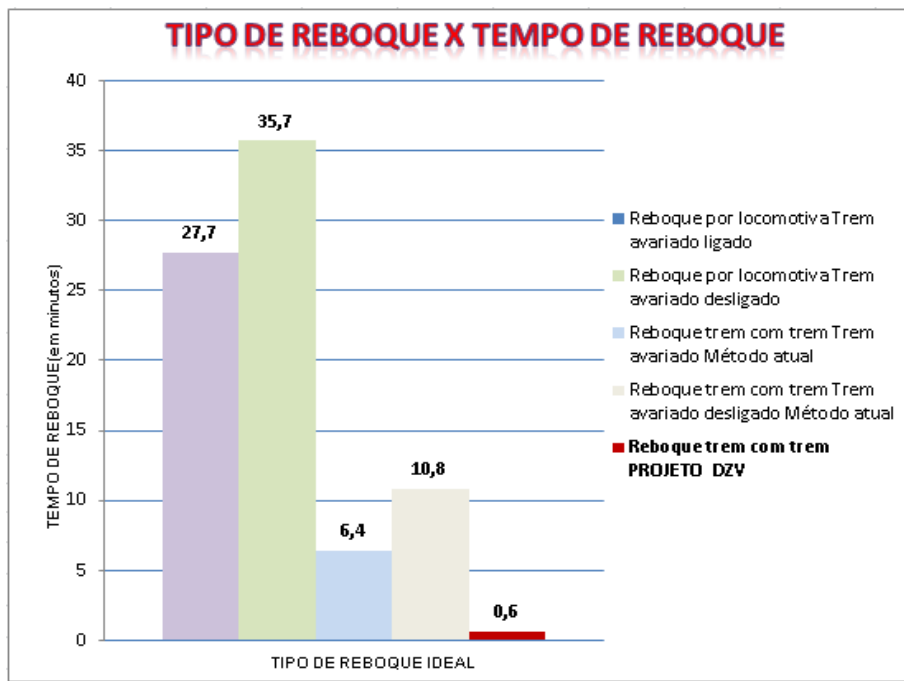
Comparando o tempo de 4,6 minutos, obtidos através do reboque DZV e o maior tempo obtido por reboque de 39,7 minutos, através do reboque por locomotiva com trem desligado, a diferença é de 8,6 vezes.

Se for desconsiderado o tempo de deslocamento mínimo para reboque (*headway* mínimo), as diferenças de tempos entre os métodos de reboques são ainda maiores, conforme mostrado no quadro 16 a seguir.

Quadro 16: Tempos de reboque e deslocamento ideal.

<b>TIPO DE REBOQUE</b>	<b>TEMPO DE REBOQUE</b>	<b>TEMPO MÍNIMO DE DESLOCAMENTO</b>	<b>TEMPO TOTAL</b>
<u>Reboque por locomotiva Trem avariado ligado</u>	<u>27,7 min</u>	<u>4 min</u>	<u>31,7 min</u>
<u>Reboque por locomotiva Trem avariado desligado</u>	<u>35,7 min</u>	<u>4 min</u>	<u>39,7 min</u>
<u>Reboque trem com trem - Trem avariado ligado - Método atual</u>	<u>6,4 min</u>	<u>4 min</u>	<u>10,4 min</u>
<u>Reboque trem com trem - Trem avariado desligado - Método atual</u>	<u>10,8 min</u>	<u>4 min</u>	<u>14,8 min</u>
<u>Reboque trem com trem</u> <b>PROJETO DZV</b>	<u>0,6 min</u>	<u>4 min</u>	<u>4,6 min</u>

Desconsiderando o tempo mínimo de deslocamento do trem (4 minutos de *headway*) ao trem avariado, o tempo necessário para aplicar a metodologia DZV é de 0,6 minutos, se comparados ao maior tempo obtido por reboque de 35,7 minutos, sem considerar o *headway* mínimo de deslocamento, através do reboque por locomotiva com trem desligado, a diferença no tempo necessário para realização de reboque, chega a até 59 vezes, conforme mostrado na figura 55, a seguir.



**Figura 55: Gráfico comparativo – Tempo de reboque ideal.**

Além destas citadas, também pode-se comparar o tempo de reboque médio atual praticado na CPTM de 82 minutos, obtidos através dos dados do SICOM [2] e o tempo de reboque através da metodologia DZV de 4,6 minutos, neste caso a diferença é de até 18 vezes.

## 7. CONCLUSÃO

Foi proposto e implementado uma sistemática para diminuir o tempo de reboque de um trem avariado do trecho, de forma a minimizar os problemas ocasionados por desembarque de usuários na via.

Foram estudados todos os sistemas envolvidos: engates, freios e o atual procedimento de reboque entre trens. Pesquisados vários modelos de engates existentes no Brasil e no Mundo, seu funcionamento e aplicabilidade. Depois analisado o complexo sistema de freio do trem série 7000, e então surgiram as primeiras ideias de modificações, que ao longo de estudos empíricos, foi possível melhorar o projeto até chegar ao conjunto de dispositivos que atende as especificações técnicas levantadas à partir dos estudos conduzidos sobre o processo atual. Em paralelo foi examinado a metodologia atual de reboque, a qual foi a base para elaboração do projeto, identificando os pontos a serem melhorados e, além disso, não ocasionar mudanças que poderiam trazer resultados negativos perante o corpo técnico-operacional da companhia.

Baseado no conhecimento adquirido durante o estudo, foi proposto um dispositivo de simples implementação e que atende as premissas básicas funcionais e de segurança, além de respeitar uma das diretrizes básicas da empresa que é evitar a descida de usuários e empregados na via.

A proposta final considerou o conhecimento e experiência do corpo técnico da empresa, uma vez que a proposta foi apresentada a diversas áreas e estas puderam emitir importantes opiniões. A proposta foi implementada nos trens Q-03 (7009-7010-7011-7012) e Q-06 (7021-7022-7023-7024), sendo que estes trens circulam todos os dias, e portanto há dificuldade em mantê-los disponíveis para as realizações dos testes práticos e emulações, sendo necessário realizar os testes aos finais de semana e em períodos que o trem estava recolhido no abrigo para manutenção.

Cabe ressaltar que todas as modificações nos dispositivos foram efetuadas de modo a não alterar os requisitos básicos de segurança do projeto do fabricante do trem. Além disso, todas as implementações realizadas durante os testes práticos sempre foram inibidas no final, pois o trem necessitava prestar serviço.

Os testes finais foram realizados de forma a emular as várias condições adversas de falhas, até a realização de testes na linha principal, em horários onde não havia mais circulação comercial.

Os resultados dos testes mostraram que o tempo de reboque praticado através do uso da metodologia DZV foi sempre menor que qualquer tempo de reboque das atuais metodologias existentes na CPTM.

**Formatado:** Fonte: Não Negrito

**Formatado:** Normal, Espaçamento entre linhas: 1,5 linhas

Por fim, conclui-se que a implantação do projeto DZV implicará em vantagens técnicas e operacionais para a CPTM e a sociedade em geral, embora a situação somente seja definitivamente equacionada com a instalação em todas as séries de trens ou segregação da frota.

Uma das principais colaborações do projeto DZV foi a possibilidade da realização do reboque entre trens sem a necessidade dos funcionários descerem na via, questão amplamente discutida em toda a empresa, que possui como meta eliminar tal prática. Além disso, pela agilidade da realização do reboque com a metodologia DZV, a possibilidade de um desembarque de usuários na via férrea também é minimizada.

A análise de confiabilidade e segurança não foi explorada, por demandar uma continuação neste estudo.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão abordados alguns estudos que, embora sejam conhecidos, a sua aplicabilidade neste projeto não foi o foco deste trabalho, por entender que poderá ser alvo de continuação deste trabalho.

Uma evolução do projeto DZV, consiste na implementação do monitoramento eletrônico e visualização das informações deste sistema pelo computador de bordo do trem, possibilitando a supervisão em tempo real, local e remotamente, inclusive pelo CCO, sem a necessidade de qualquer tipo de intervenção do maquinista durante o processo de reboque entre trens, exceto na manobra para acoplamento.

Outra interessante complementação do projeto é a implementação de um canal de comunicação com áudio e vídeo entre as cabines dos trens rebocado e rebocador, possibilitando comunicação entre os maquinistas durante a realização do procedimento de reboque pela metodologia DZV.

Mais uma possibilidade vislumbrada no decorrer deste trabalho é a implementação de uma alimentação por meio de super baterias, na qual é possível a realização de auto reboque de um trem avariado, em casos de falhas no sistema de alimentação de trens, possibilitando o seu deslocamento até a estação mais próxima para desembarque dos usuários em plataforma, sempre atendendo aos requisitos básicos de segurança.

### 6.6. —TESTE REAL CONTROLADO

Neste subitem serão mostrados os tempos obtidos com a implantação do projeto DZV em um trem. O teste foi realizado no trem protótipo DZV (trem com os dispositivos instalados) em uma linha de pátio da manutenção, de modo a não interferir na circulação operacional.

No quadro 14 estão pontuadas as etapas do teste e respectivos tempos.

—Quadro 14: Tempo de Reboque—Projeto DZV.

ETAPA	DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	TEMPO DECORRIDO
1	Tempo de deslocamento do trem rebocador até o trem a ser rebocado (adotado menor headway da CPTM);	4 min
2	Acoplar os trens;	0,5 min
3	Acionar a chave comutadora DZV em ambos os trens e iniciar o reboque.	0,1 min

**Formatado:** Fonte: 12 pt

**Formatado:** Normal, Nenhum, Recuo:  
À esquerda: 0 cm, Espaçamento entre  
linhas: 1,5 linhas, Tabulações: Não em  
0 cm



TEMPO TOTAL	4,6 MIN
-------------	---------

O tempo prático de reboque do projeto DZV é de 4,6 minutos, o qual engloba o menor *headway* da CPTM.. A diminuição deste tempo refletirá na redução do tempo de reboque do projeto DZV.

Durante a realização dos testes, foram emuladas avarias em ambos os trens. Em todas as emulações foi possível realizar o reboque sendo mantido o tempo apurado.

## 6.7. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A implantação do projeto DZV traz inúmeras vantagens com relação aos atuais métodos de reboque. A seguir estão elencadas as principais vantagens:

- ✓ Fácil implantação;
- ✓ Facilidade de utilização por parte dos maquinistas dos trens;
- ✓ Realizar as menores modificações possíveis nos sistemas já existentes no trem;
- ✓ Utilizar o sistema de *fail safe* (falha segura);
- ✓ Minimizar a possibilidade de erro operacional em sua utilização;
- ✓ Sinalizar o seu estado funcional quando em uso;
- ✓ Otimizar o tempo necessário para efetuar o reboque de trem com trem operacional;
- ✓ Ativação do modo rebocado por qualquer cabine.

Além das vantagens operacionais, a implantação do projeto DZV também oferece vantagens técnicas em sua instalação:

- ✓ Implementação baseada em relés;
- ✓ Inserção de cabos sem alterar o projeto;
- ✓ Comportamento do laço para 16 carros;
- ✓ Sinais conhecidos *Train line*.

No quadro 15 estão demonstradas as vantagens e desvantagens técnicas e operacionais dos diferentes tipos de reboques possíveis, incluindo o projeto DZV.

Quadro 15 Vantagens e Desvantagens dos modos de reboque.

TIPO DE REBOQUE	VANTAGENS	DESVANTAGENS	TEMPO DE
-----------------	-----------	--------------	----------

			REBOQUE
Reboque por locomotiva Trem avariado ligado	Dois níveis de freio no rebocado (aplicação pela locomotiva)	<del>Tempo para realização de reboque / Sem aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado / Necessita de energia da rede aérea</del>	31,7 min
Reboque por locomotiva Trem avariado desligado	Dois níveis de freio no rebocado (aplicação pela locomotiva) / Não necessita de energia da rede aérea	<del>Trem avariado sem sistema de ar condicionando / Tempo para realização de reboque / Sem aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado</del>	39,7 min
Reboque trem com trem Trem avariado ligado Método atual	Dois níveis de freio (aplicação somente pela cabine de condução do trem rebocador)	<del>Necessidade de desligar o trem rebocado antes do acoplamento / Necessidade de desligar e ligar o trem rebocador / Não permite aplicação de emergência pelo trem rebocado</del>	10,4 min
Reboque trem com trem Trem avariado desligado Método atual	Quantidade mínima de interações no sistema	<del>Trem rebocado sem sistema de ar condicionando / Não permite aplicação de emergência pelo trem rebocado / Necessidade de ativar <i>by-pass</i> no trem rebocador / Necessita de energia da rede aérea</del>	14,8 min
Reboque trem com trem <b>PROJETO DZV</b>	Quantidade mínima de interações no sistema / Não necessita ativar <i>by-pass</i> no trem rebocador / Aplicação de freio de emergência pelo trem rebocado	Necessita de energia da rede aérea	4,6 min

No gráfico da figura 54 são exibidos os tempos de realização de reboques referentes aos tipos de reboques:

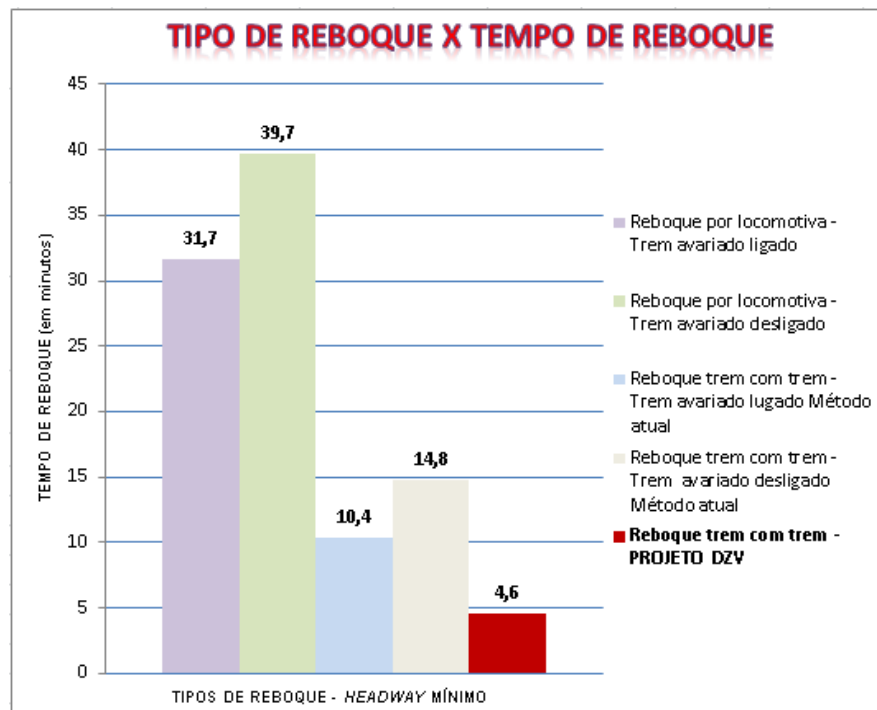


Figura 54: Gráfico comparativo – Tempo de reboque com deslocamento mínimo.

Analisando o gráfico da figura 54, é notório que o tempo de reboque realizado através da metodologia DZV é bem menor que os demais métodos atuais. Ainda assim, o tempo emulado no projeto DZV considerou um tempo de deslocamento médio de 4 minutos, o qual é obtido do menor *headway* atual praticado na CPTM.

Comparando o tempo de 4,6 minutos, obtidos através do reboque DZV e o maior tempo obtido por reboque de 39,7 minutos, através do reboque por locomotiva com trem desligado, a diferença é de 8,6 vezes.

Se for desconsiderado o tempo de deslocamento mínimo para reboque (*headway* mínimo), as diferenças de tempos entre os métodos de reboques são ainda maiores, conforme mostrado no quadro 16 a seguir:

Quadro 16: Tempos de reboque e deslocamento ideal.

TIPO DE REBOQUE	TEMPO DE REBOQUE	TEMPO MÍNIMO DE DESLOCAMENTO	TEMPO TOTAL
-----------------	------------------	------------------------------	-------------

Reboque por locomotiva Trem avariado ligado	27,7 min	4 min	31,7 min
Reboque por locomotiva Trem avariado desligado	35,7 min	4 min	39,7 min
Reboque trem com trem Trem avariado ligado—Método atual	6,4 min	4 min	10,4 min
Reboque trem com trem Trem avariado desligado—Método atual	10,8 min	4 min	14,8 min
Reboque trem com trem <b>PROJETO DZV</b>	0,6 min	4 min	4,6 min

Desconsiderando o tempo mínimo de deslocamento do trem (4 minutos de *headway*) ao trem avariado, o tempo necessário para aplicar a metodologia DZV é de 0,6 minutos, se comparados ao maior tempo obtido por reboque de 35,7 minutos, através do reboque por locomotiva com trem desligado, a diferença no tempo necessário para realização de reboque, chega a até 59 vezes, conforme mostrado na figura 55, a seguir.

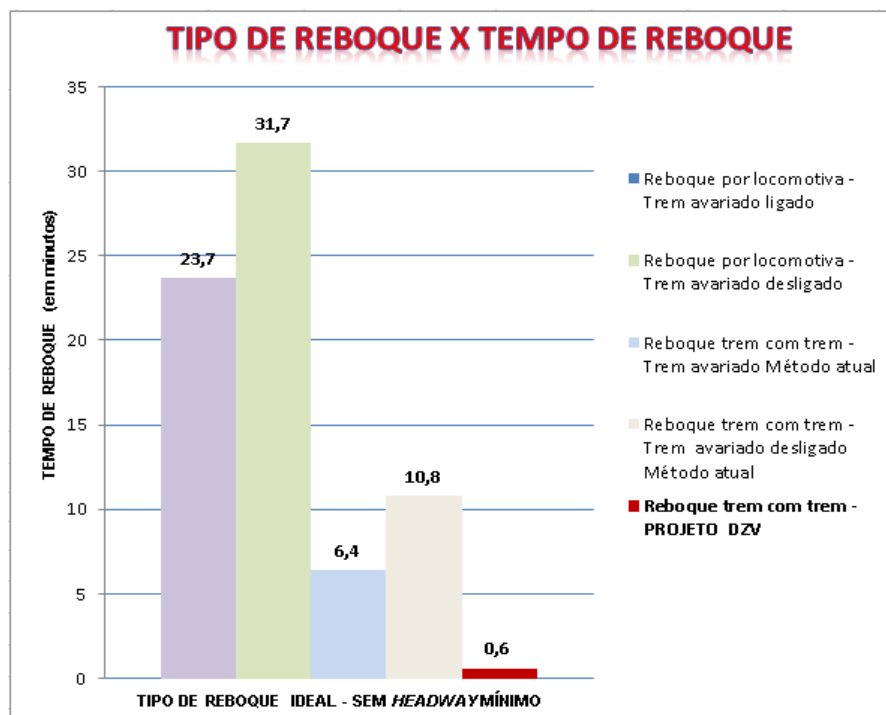


Figura 55: Gráfico comparativo — Tempo de reboque ideal.

Se comparado o tempo de reboque médio atual praticado na CPTM de 83 minutos,, através dos dados obtidos do SICOM [ver referência SICOM] e o tempo de reboque através da metodologia DZV de 4,6 minutos, a diferença é de até 18 vezes.

#### 6.8. CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO

Uma das principais colaborações do projeto DZV foi a possibilidade da realização do reboque entre trens sem a necessidade dos funcionários descer a via, questão amplamente discutida em toda a empresa, que possui como meta eliminar tal prática. Além disso, pela agilidade da realização do reboque com a metodologia DZV, a possibilidade de um desembarque de usuários na via férrea também é minimizada.

Foram analisadas várias alternativas técnicas, como alteração do software do sistema embarcado, uso de microcontroladores para controle da tração e aceleração do trem, até a definição final, que utiliza lógica de relés. Todas as alternativas pesquisadas são factíveis de implementação, porém não possuem o mesmo resultado de segurança, apresentado pela implementação de relés.

Os períodos de análises práticas foram pequenos, pois os trens protótipos também são utilizados diariamente pela CPTM na circulação de passageiros.

Conforme descrito anteriormente, tais alternativas foram analisadas até chegar ao modelo proposto.

## 7 CONCLUSÃO

Foi proposto e implementado uma sistemática para diminuir o tempo de reboque de um trem avariado do trecho, de forma a minimizar os problemas ocasionados por desembarque de usuários na via.

Foram estudados todos os sistemas envolvidos: engates, freios e o atual procedimento de reboque entre trens. Pesquisados vários modelos de engates existentes no Brasil e no Mundo, seu funcionamento e aplicabilidade. Depois analisado o complexo sistema de freios do trem série 7000, e então surgiram as primeiras ideias de modificações, que ao longo de estudos empíricos, foi possível melhorar o projeto, até chegar ao conjunto de dispositivos que entendemos como ideal, pois atende as expectativas técnicas. Em paralelo foi examinado a metodologia atual de reboque, a qual foi a base para elaboração do projeto, identificando os pontos a serem melhorados e, além disso, não ocasionar mudanças que poderiam trazer resultados negativos, perante o corpo técnico operacional da companhia.

Baseado no conhecimento adquirido durante o estudo, foi proposto um dispositivo de simples implementação e que atende as premissas básicas funcionais e de segurança, além de respeitar uma das diretrizes básicas da empresa que é evitar pessoas e funcionários descer na via.

A proposta final considerou o conhecimento e experiência do corpo técnico da empresa, uma vez que a proposta foi apresentada a diversas áreas e estas puderam emitir importantes opiniões. A proposta foi implementada nos trens Q3 (7009 7010 7011 7012) Q06 (7021 7022 7023 7024), sendo que estes trens circulam todos os dias, e, portanto há dificuldade em mantê-los disponíveis para as realizações dos testes práticos e emulações, sendo necessário realizar os testes aos finais de semana e em períodos que o trem estava recolhido no abrigo para manutenção.

Cabe ressaltar que todas as modificações nos dispositivos foram efetuadas de modo a não alterar os requisitos básicos de segurança do projeto do fabricante do trem, além disso, todas as implementações realizadas durante os testes práticos sempre foram inibidas no final, pois o trem necessitava prestar serviço.

Os testes finais foram realizados de forma a emular as várias condições adversas de falhas, até a realização de testes na linha principal, em horários onde não havia mais circulação comercial.

Os resultados dos testes mostraram que o tempo de reboque praticado através do uso da metodologia DZV foi sempre menor que qualquer tempo de reboque das atuais metodologias existentes na CPTM.

~~Por fim, conclui-se que a implantação do projeto DZV implicará em vantagens técnicas e operacionais para a CPTM e a sociedade em geral, embora a situação somente seja definitivamente equacionada com a instalação em todas as séries de trens ou segregação da frota.~~

~~A análise de confiabilidade e segurança não foi explorada, por demandar uma continuação neste estudo.~~

## 8. TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão abordados alguns estudos que embora sejam conhecidos as suas aplicabilidades neste projeto, não foram o foco deste trabalho, por entender que poderá ser alvo de continuação deste trabalho.

Uma evolução do projeto DZV, consiste na implementação de monitoramento eletrônico e visualização deste sistema pelo computador de bordo do trem, possibilitando a supervisão em tempo real, local e remotamente, inclusive pelo CCO, sem a necessidade de qualquer tipo de intervenção do maquinista durante o processo de reboque entre trens.

Outra interessante evolução do projeto, é implementação de um canal de comunicação com áudio e vídeo entre as cabines dos trens (rebocado e rebocador), possibilitando comunicação entre os maquinistas durante a realização do procedimento de reboque pela metodologia DZV.

Mais uma possibilidade vislumbrada no desenvolver deste trabalho é a implementação de uma alimentação por meio de super baterias, onde é possível a realização de auto-reboque de um trem avariado, em casos de falhas no sistema de alimentação de trens, possibilitando o seu deslocamento até a estação mais próxima, para desembarque dos usuários em plataforma, sempre atendendo aos requisitos básicos de segurança, porém este estudo é algo muito complexo pois depende de tecnologias atualmente não disponíveis no mercado ferroviário.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. DOP – Diário Operacional da CPTM – Ocorrências Operacionais – Passageiros Afetados (acesso 15 maio 2012)
- [2]. DOP – Diário Operacional da CPTM – Ocorrências Operacionais – Tempo de reboque (acesso 15 maio 2012)
- [3]. Consulta site: <http://www.google.com.br/> - Primeiras Ferrovias do Brasil (acesso 17 maio 2012)
- [4]. Procedimento Operacional de reboque de trens - Linhas 8/9 – CPTM [http://webcptm/bco\\_documentos/CDT\\_APRO/00101685.pdf](http://webcptm/bco_documentos/CDT_APRO/00101685.pdf) (acesso 17 maio 2012)
- [5]. Falha em trens paralisa a circulação na região do Tatuapé <http://topicos.estadao.com.br/fotos-sobre-falha/trens-paralisados-apos-falha-na-regiao-do-tatuape-os-passageiros-desceram-e-seguiram-a-pe,0c875eff-078e-4f1f-9957-2397d828e167> (Acesso 19 junho 2012)
- [6]. Vandalismo em São Paulo tira de circulação trens que ofereciam serviço de boa qualidade – Veja São Paulo [http://veja.abril.com.br/251198/p\\_144.html](http://veja.abril.com.br/251198/p_144.html) (Acesso 19 junho 2012)
- [7]. Modificado de [http://cpr.org/Museum/Ephemera/Link-Pin\\_Couplers.html](http://cpr.org/Museum/Ephemera/Link-Pin_Couplers.html) (Acesso 19 junho 2012)
- [8]. Design Details of Railways, Railroads and Metros - AUTOR <http://www.railway-technical.com/design-details.shtml> (Acesso 19 junho 2012)
- [9]. Modificado de <http://www.wsr.org.uk/couplings.htm> (Acesso 19 junho 2012)
- [10]. Modificado de <http://www.railway-technical.com/design-details.shtml> (Acesso 22 junho 2012)
- [11]. Modificado de <http://myweb.tiscali.co.uk/gansg/4-rstock/04arstock2b.htm> (Acesso 22 junho 2012)
- [12]. Fonte de consulta: <http://www.norgrove.me.uk/buckeye.htm> (Acesso 22 junho 2012)

- [13]. Consulta site fabricante de engate:  
<http://voith.com/en/products-services/power-transmission/scharfenberg-couplers-10318.html>;  
<http://www.us.voithturbo.com/scharfenberg.htm>;  
[http://www.saopaulo.voithturbo.com/vt\\_saopaulo\\_n\\_ferrovaria.htm](http://www.saopaulo.voithturbo.com/vt_saopaulo_n_ferrovaria.htm);  
 (Acesso 22 junho 2012)
- [14]. Manual do Fabricante – Trem Série 7000, CAF, 2010
- [15]. Modificado de <http://www.railway-technical.com/design-details.shtml> (Acesso 19 junho 2012)
- [16]. Extraído de <https://intranet.cptm.sp.gov.br/Operacao/frota/default.asp> (Acesso 19 junho 2012)
- [17]. Fonte de consulta: <http://www.norgrove.me.uk/buckeye.htm> (Acesso 19 junho 2012)
- [18]. Manual do Fabricante – Voith Turbo
- [19]. <http://www.railway-technical.com/Screw-etc-couplings.jpg> (Acesso 19 junho 2012)
- [20]. <http://www.railway-technical.com/Screw-Coupling.jpg> (Acesso 19 junho 2012)
- [21]. [\*\(BS EN 13452-2:2003 Railway applications. Braking. Mass transit brake systems. Methods of test \)\*](#) (Acesso 19 junho 2012)
- [22]. Juhnke, Klaus Jürgen, (1968), A Eficiência das Ferrovias no Transporte Metropolitano. Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- [23]. Regina, I.C.e Ribeiro, S.E.R., (2000) Circulação sobre trilhos na região Metropolitana de São Paulo: Pessoas ou Mercadorias – Artigo Técnico – Secretaria de Transportes Metropolitanos de São Paulo / CPTM.
- [24]. Brina, Helvécio Lapertosa, (1979), Estradas de Ferro Vol. 1, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.

Formatado: Justificado

Formatado: Justificado

Formatado: Justificado

- [25]. Brina, Helvécio Lapertosa, (1982), Estradas de Ferro Vol. 2 / colaboração da Rede Ferroviária Federal S.A., LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA, Rio de Janeiro.
- | [26]. Manual de Manutenção Equipamento Elétrico EMU.01.17 - Armários elétricos [pdf](#) – Trem Série 7000, CAF, 2010

## ANEXOS

### ANEXO I – REPORTAGENS / NOTÍCIAS

#### DESEMBARQUE DE USUÁRIOS PARA A VIA E VANDALISMO EM TRENS

Trens paralisados após falha em uma composição na região do Tatuapé. Os passageiros desceram na via férrea e seguiram a pé até a estação.



**Figura 56:** Trens paralisados após falha na região do Tatuapé. Os passageiros desceram e seguiram a pé.

Vandalismo em São Paulo tira de circulação trens que ofereciam serviço de boa qualidade.



**Figura 57:** Trens vandalizados.

## ANEXO II – DIGRAMA EM BLOCOS – LAÇO DE EMERGÊNCIA

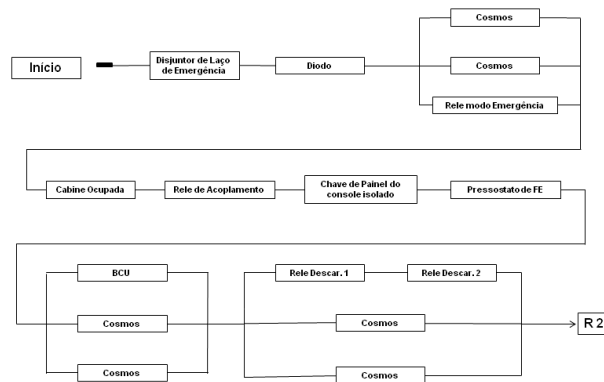


Figura 58: Diagrama em blocos – M2 – Comando ativo M1.

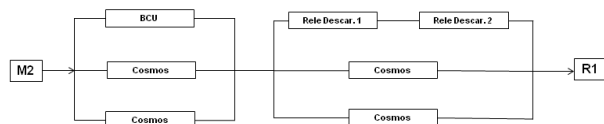


Figura 59: Diagrama em blocos – R2 – Comando ativo M1.

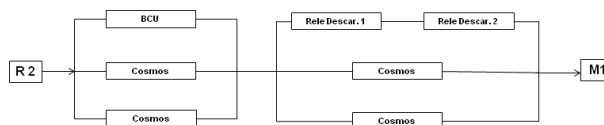


Figura 60: Diagrama em blocos – R1 – Comando ativo M1.

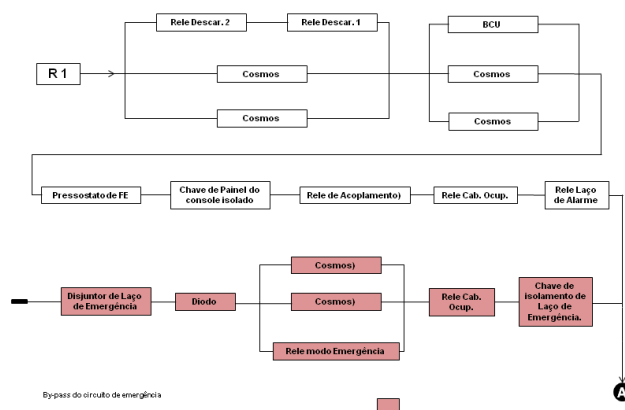


Figura 61: Diagrama em blocos – M1 – Comando ativo M1.

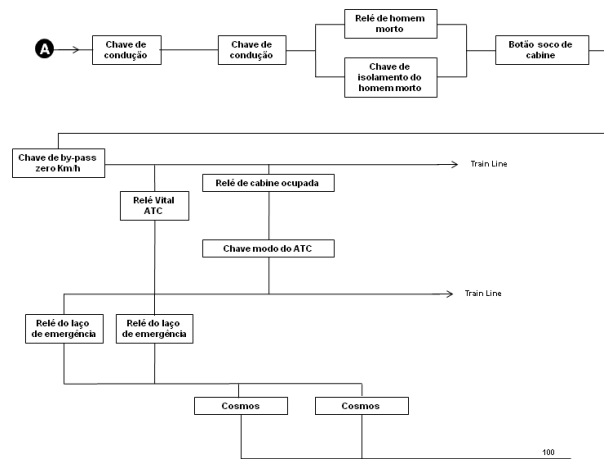


Figura 62: Diagrama em blocos M1 (continuação)– Comando ativo M1.

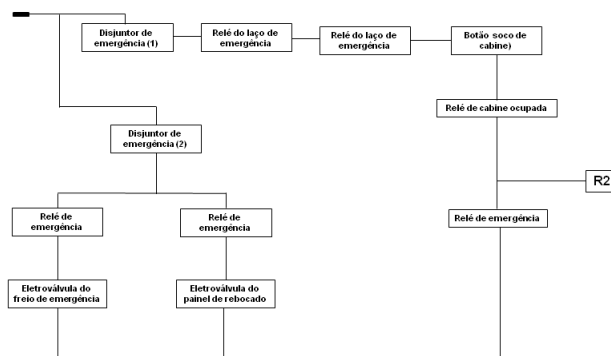


Figura 63: Diagrama em blocos – M2 – Comando ativo M1 - Circuito de Emergência.

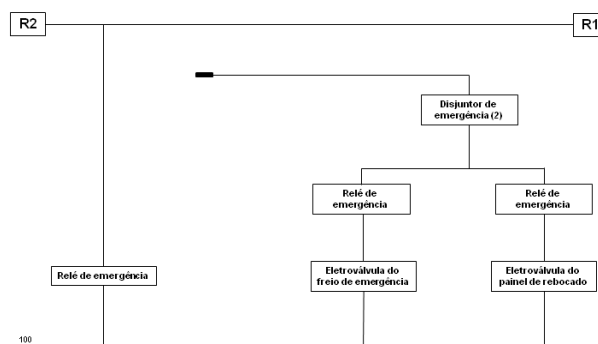


Figura 64: Diagrama em blocos – R2 – Comando ativo M1 - Circuito de Emergência.



### ANEXO III – FLUXOGRAMA DE ATUAÇÃO EM AVARIA DE TRAÇÃO EM TRENS DA SÉRIE 7000

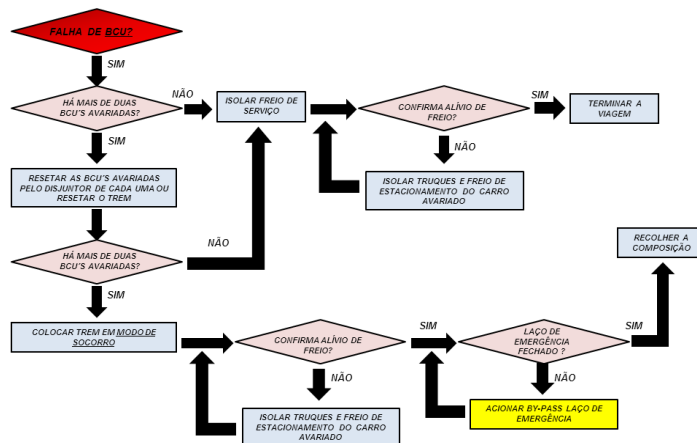


Figura 67: Fluxograma de atuação falha de BCU.

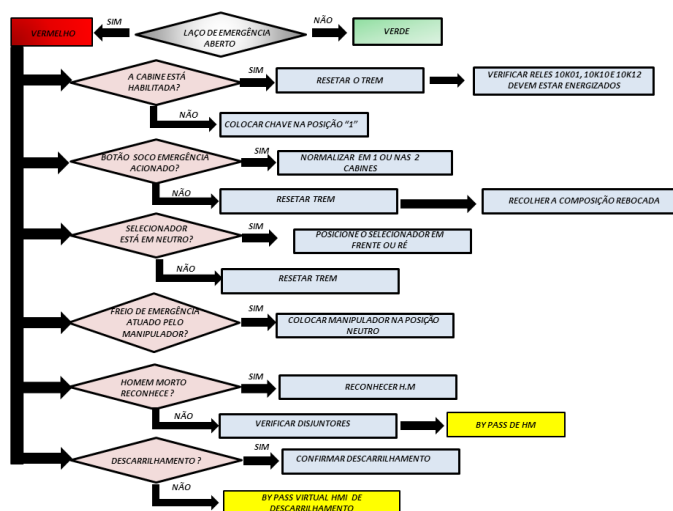


Figura 68: Fluxograma do laço de emergência Parte 1-3.



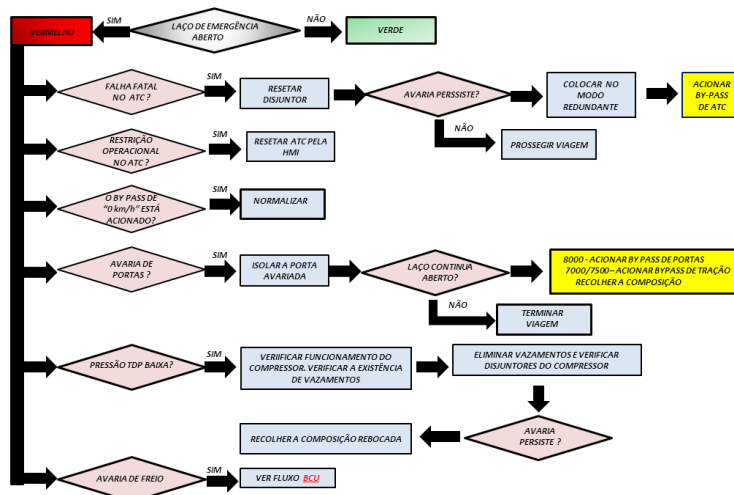


Figura 69: Fluxograma do laço de emergência Parte 2-3.

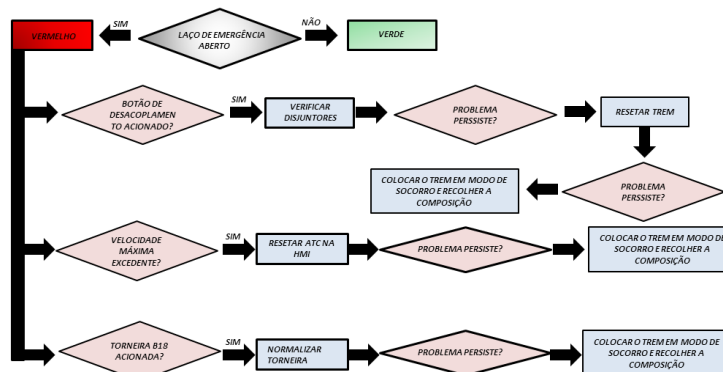


Figura 70: Fluxograma do laço de emergência Parte 3-3.

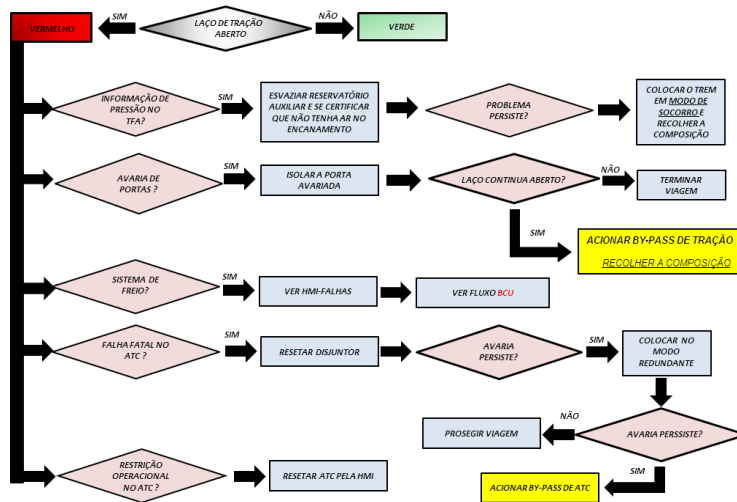


Figura 71: Fluxograma do laço de tração Parte 1-2.

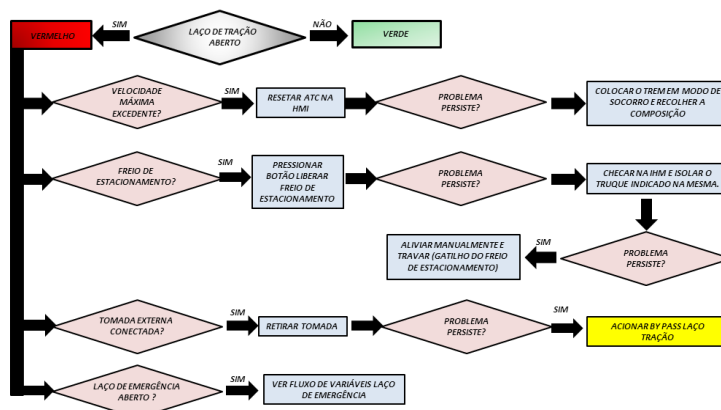


Figura 72: Fluxograma do laço de tração Parte 2-2.