

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**  
**APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

**Rafael Pischke Garske**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTAS ELÉTRICAS EM  
TRENS UNIDADE ELÉTRICA DA SÉRIE 200 DA TRENSURB**

Novo Hamburgo, RS

2017

**Rafael Pischke Garske**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTAS ELÉTRICAS EM  
TRENS UNIDADE ELÉTRICA DA SÉRIE 200 DA TRENSURB**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada nos Processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Geomar Machado Martins

Novo Hamburgo, RS  
2017

**Rafael Pischke Garske**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTAS ELÉTRICAS EM  
TRENS UNIDADE ELÉTRICA DA SÉRIE 200 DA TRENSURB**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada nos Processos Produtivos.**

**Aprovado em 22 de Julho de 2017**

---

**Dr. Geomar Machado Martins**  
(Presidente / Orientador)

---

**Dr. Cláudio Roberto Losekann**

---

**Dr. Cezar Augusto Beltrame**

Novo Hamburgo, RS  
2017

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTAS ELÉTRICAS EM TRENS UNIDADE ELÉTRICA DA SÉRIE 200 DA TRENSURB**

AUTOR: RAFAEL PISCHKE GARSKE

ORIENTADOR: GEOMAR MACHADO MARTINS

Este trabalho apresenta um estudo do consumo de portas em trens unidade elétrica de superfície da série 200 da TRENSURB. Por meio deste trabalho, demonstra-se o consumo de cada porta e o quanto poderia ser economizado a partir da criação de um dispositivo que permita ao usuário abrir a porta desejada nos horários de menor movimento. Os levantamentos dos dados foram feitos através de medições de consumo nos trens e informações contidas nos manuais. A quantidade de passageiros durante o horário de vale, número de estações, número de viagens e número de ciclos foram requeridos junto à empresa. Foram montados cenários com redução do número de portas e demonstrado a economia que se poderia gerar ao se criar um dispositivo de abertura individual. Conclui-se que a economia de ciclos de porta ajuda não só no consumo elétrico quanto no desgaste do equipamento.

**Palavra-chave:** eficiência energética. Trem unidade elétrica. Trensurb.

**ABSTRACT****EVALUATION OF CONSUMPTION IN ELECTRIC DOORS IN ELECTRIC  
DRIVE TRAINS FROM TRENSURB 200 SERIES**

AUTHOR: RAFAEL PISCHKE GARSKE

ADVISOR: GEOMAR MACHADO MARTINS

This paper presents a study of consumption doors on surface electric drive trains of TRENSURB 200 Series. Through this work, it shows the consumption of each port and how much could be saved from the creation of a device that allows the user to open the desired port in off-peak hours. The survey data were made through consumption measurements on trains and information in the manuals. The number of passengers during the off-peak hours, number of stations, number of trips and number of cycles were required by the company. Scenarios were assembled with reducing the number of ports and demonstrated the economy that could lead to creating an individual opening device. It follows that the door cycles saving not only helps in the electric consumption and the equipment wear.

**Keywords:** energy efficiency, electric drive train. Trensurb.

## Índice de figuras

Figura 1: Numeração e disposição das portas no TUE.....	11
Figura 2: Portas com seus dispositivos de abertura e travamento .....	11
Figura 3: Portas: visão externa (E) e visão interna (D) .....	13
Figura 4: Sistema de abertura das portas .....	13
Figura 5: Detalhe do controle de portas na cabine .....	14
Figura 6: Motor de corrente contínua com acoplamentos .....	15
Figura 7: Detalhamento dos conectores do motor de corrente contínua .....	16
Figura 8: Seção transversal de um motor de ímãs permanentes. As setas indicam o sentido de magnetização dos ímãs permanentes (FITZGERALD, p. 370) .....	17
Figura 9: Saída 72Vcc da Unidade Controladora de Porta (UDCE) para alimentação do motor elétrico .....	18
Figura 10: Mapa de linha da TRENSURB .....	18
Figura 11: Variação de passageiros por horário no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40 .....	23
Figura 12: Variação de passageiros por estação no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40 .....	23
Figura 13: Tempo de abertura de portas por estação no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40 .....	24
Figura 14: Exemplo de abertura pelo usuário em trens de Portugal.....	34
Figura 15: Abertura de portas na cabine, vista lateral .....	34
Figura 16: Gráfico das falhas de portas dos trens TRENSURB .....	36
Figura 17: Gráfico do percentual de fechamento das falhas .....	37

## Índice de quadros

Quadro 1: Passageiros transportados em Março/17 .....	22
Quadro 2: Exemplo de planilha de registro de eventos para uma missão .....	26
Quadro 3: Exemplo de quadro com os dados relevantes para uma missão.....	27
Quadro 4: Características do conversor de energia .....	28
Quadro 5: Média de passageiros e média do tempo de portas abertas por estação .....	31
Quadro 6: Número de portas adequadas à demanda verificada.....	32
Quadro 7: Viagem no vale com número de portas adequada à demanda.....	33

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. OBJETIVO GERAL.....	10
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
3.1. Trem Unidade Elétrica.....	11
3.2. Sistema de portas de salão .....	12
3.2.1. Comando de abertura e fechamento das portas .....	13
3.2.2. Motor de corrente contínua.....	14
3.2.2.1. Funcionamento do motor de corrente contínua de ímãs permanentes .....	16
3.2.3. Elementos mecânicos e elétricos da porta .....	17
3.3. Mapa de linha e informações da operação.....	18
3.4. Ciclo de portas de salão .....	19
3.5. Consumo dos motores de portas de salão.....	20
3.6. Fluxo de passageiros no horário de vale e fluxo de passageiros por porta.....	21
4. METODOLOGIA .....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
5.1. Três portas abertas por carro .....	28
5.2. Duas portas abertas por carro .....	29
5.3. Uma porta aberta por carro.....	29
5.4. Número de portas compatíveis com a demanda e fluxo de passageiros.....	30
6. CONCLUSÃO .....	38
REFERÊNCIAS .....	39



## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de energia é associado geralmente à capacidade de produzir um trabalho ou realizar uma ação. As unidades mais comuns para quantificar a energia são o Joule (J), a Caloria (cal) e o Watt hora (Wh). Relacionar a energia, a matéria e o meio ambiente é necessário para evolução e sobrevivência do ser humano. Dentro dessas relações, ressalta-se o fato de a matéria ser limitada tornando-se necessário saber utilizar a matéria sem agressão ao meio ambiente, com o menor desperdício e com o máximo proveito. Ou seja, tornar o processo mais eficiente.

Dentro do tema de eficiência energética e diminuição do consumo, é proposto neste trabalho de conclusão de curso um estudo sobre redução de consumo elétrico em portas de trem unidade elétrica (TUE) da série 200 da TRENURB. Demonstrando o quanto pode ser economizado de energia e em número de ciclos ao se reduzir o número de portas abertas para acesso ao trem durante o horário de menor fluxo de passageiros, chamado de horário de vale. O processo torna-se mais eficiente ao analisar, também, o fluxo de pessoas e o número de portas pela demanda que existe no sistema da TRENURB. Disponibilizar a abertura de portas para os usuários já é utilizada em trens metropolitanos no mundo e vem sendo pouco utilizado no Brasil. A literatura envolvendo assuntos ferroviários no Brasil é escassa e no mundo não foram encontrados artigos sobre eficiência em portas de salão. Porém dentro do assunto portas, vale destacar um estudo francês sobre segurança em abertura de portas [5] e um estudo de caso australiano sobre falhas em portas [6].

Abaixo estão descritos a metodologia de obtenção dos dados de passageiros e de potência dos motores das portas, os resultados das propostas de redução do número de portas e as conclusões. Nesse trabalho não estão considerados custos e consumos de energia relacionados à implantação do sistema no trem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Esse trabalho tem como objetivo geral estudar o consumo energético de portas elétricas em trens unidade elétrica da Série 200 da TRENSURB.

### **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

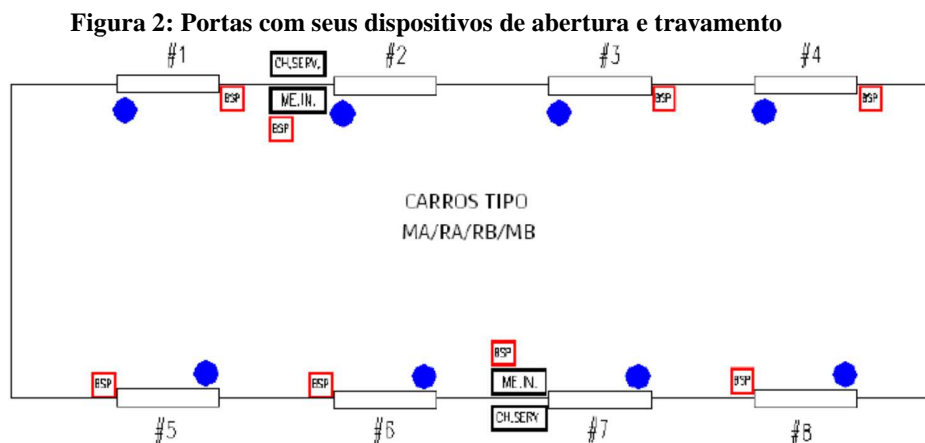
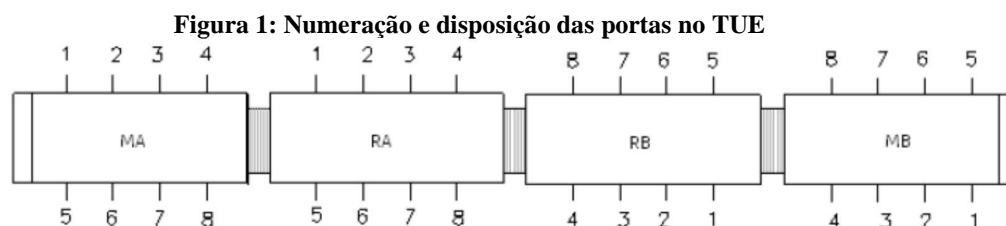
Esse trabalho tem como objetivos específicos levantar dados de fluxo de passageiros no sistema de transporte de trens das TRENSURB de Porto Alegre. Analisar os dados de número de ciclos e consumo energético das portas de salão de passageiros. Propor soluções para otimização e diminuição do uso das portas em horários de menor fluxo de passageiros.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão explicados os detalhes construtivos do trem, focando nas portas do salão de passageiros e seu sistema. Informações sobre a linha e o número de passageiros que utilizam o sistema de trens. Explicando detalhes do funcionamento e do consumo das portas durante seu ciclo de abertura/fechamento.

#### 3.1. Trem Unidade Elétrica

Um TUE (Trem Unidade Elétrica) da Série 200 da TRENSURB possui 8 portas por carro, tendo 4 carros por composição simples. Totalizando 32 portas. Sendo elas numeradas e definidas conforme Figura 1: Numeração e disposição das portas no TUE. Na Figura 2: Portas com seus dispositivos de abertura e travamento estão descritos os dispositivos de cada porta, que se repetem nos demais carros.



- BSP - BOTÃO DE EMERGÊNCIA DE PORTA
- LOS - CHAVE ISOLAMENTO ELÉTRICO E TRAVAMENTO MECÂNICO
- ME.IN. - MANÍPULO DE EMERGÊNCIA DE PORTA
- CH.SERV. - CHAVE ISOLAMENTO ELÉTRICO E TRAVAMENTO MECÂNICO

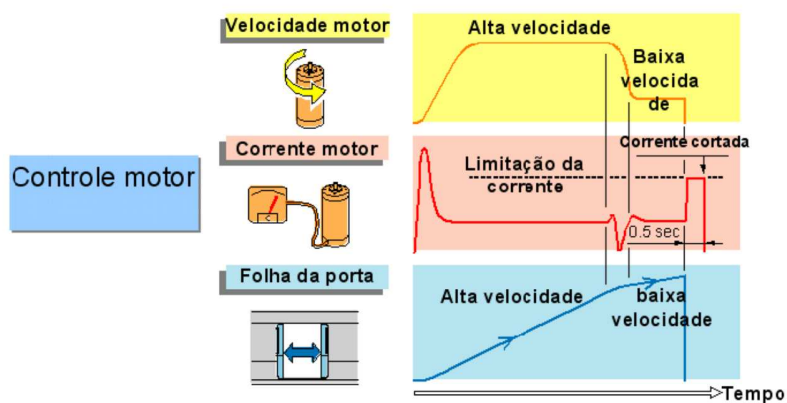
### **3.2. Sistema de portas de salão**

As portas do salão de passageiros dos trens da série 200 são constituídas de quatro elementos principais: a unidade controladora de porta (UDCE), o conjunto de folhas de porta, mecanismo de suspensão e conjugação e conjunto motor elétrico da porta. Sendo que dentro deste último está o foco da medição deste trabalho, o motor de corrente contínua. O funcionamento do sistema de portas pode ser visto na Figura 4: Sistema de abertura das portas, detalhando a velocidade do motor, o gráfico da corrente (A) e a velocidade de abertura/fechamento das portas.

Figura 3: Portas: visão externa (E) e visão interna (D)



Figura 4: Sistema de abertura das portas



### 3.2.1. Comando de abertura e fechamento das portas

O comando de abertura e fechamento das portas nas estações está sob controle do piloto. Sendo possível abrir as portas de duas maneiras. Pelo controle em cada porta lateral das cabines pelo console. A figura abaixo mostra a localização desses controles dentro da cabine. Podendo observar sua abertura através de uma tela à direita do piloto e através de vídeo na tela à sua esquerda.

Figura 5: Detalhe do controle de portas na cabine



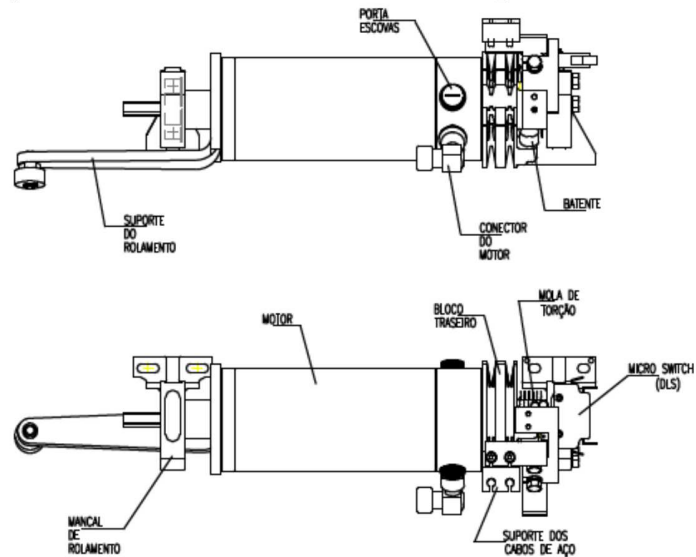
### 3.2.2. Motor de corrente contínua

As principais características do motor de corrente contínua 72Vcc com escovas:

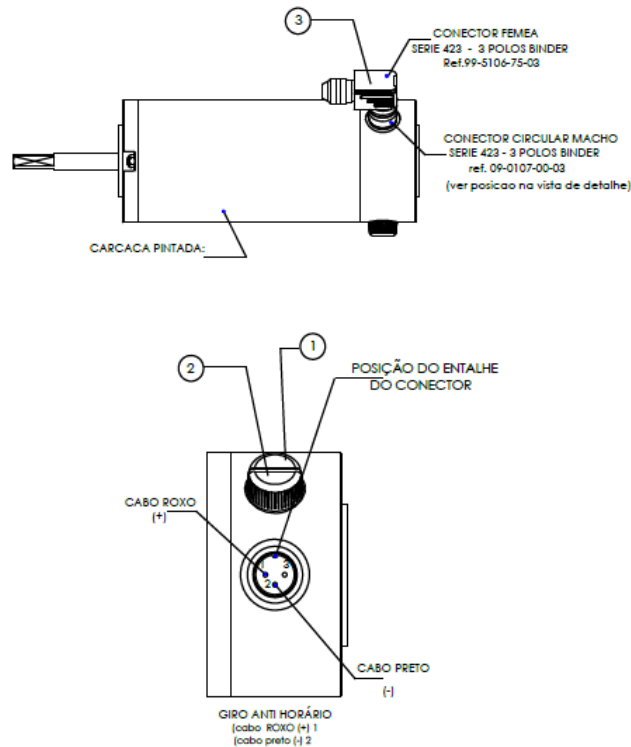
- **Fabricante:** LINIX
- **Características Operacionais**
  - Alimentação elétrica: 72Vcc (-30% à 25%)
  - Corrente nominal: 1,65A ( $\pm 0,1$ )
  - Conjugado nominal: 1,2Nm
  - Rotação (em tensão nominal): 700 RPM ( $\pm 50$ )
  - Tempo de abertura/fechamento: (2,5 $\pm$ 0,5)s
- **Características técnicas**
  - Ímã permanente
  - Corrente em vazio <0.4 A
  - Rendimento > 75%

- Corrente no rotor bloqueado: 5,5A – tempo 90s; 4,2A – tempo 12min;  
1,65A regime permanente
  - IP54
  - Dois pólos de alimentação e um terra
  - Vida útil de 3.000.000 ciclos
- **Confiabilidade**
    - MTBF: 50.000 horas
    - MTTR: 2 horas
    - Eficiência: 0,99996

**Figura 6: Motor de corrente contínua com acoplamentos**



**Figura 7: Detalhamento dos conectores do motor de corrente contínua**

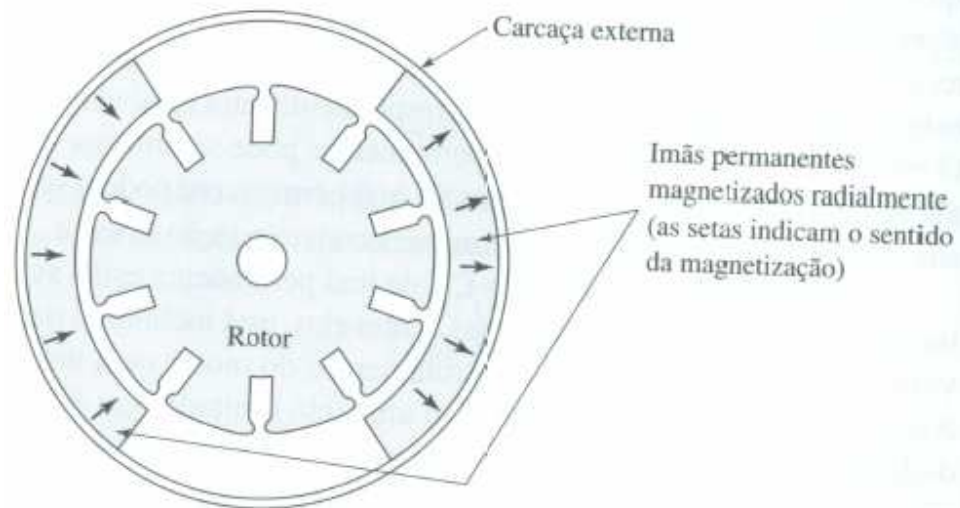


### 3.2.2.1. Funcionamento do motor de corrente contínua de ímãs permanentes

O funcionamento do motor de ímãs permanentes da mesma maneira que um motor de corrente contínua comum. A diferença está no enrolamento de campo que aqui é substituído por um ímã permanente. Deixando sua construção mais simples. Os ímãs permanentes não necessitam de excitação externa e não criam campos magnéticos. Existe risco de desmagnetização devido a correntes excessivas nos enrolamentos ou por causa de sobreaquecimento. A estrutura do estator é lisa em uma carcaça cilíndrica de material magnético permanente com espessura uniforme, magnetizando no sentido axial. O rotor tem comutador, escovas e ranhuras para os enrolamentos (Figura 8: Seção transversal de um motor de ímãs permanentes. As setas indicam o sentido de magnetização dos ímãs permanentes (FITZGERALD, p. 370)).



**Figura 8: Seção transversal de um motor de ímãs permanentes. As setas indicam o sentido de magnetização dos ímãs permanentes (FITZGERALD, p. 370)**



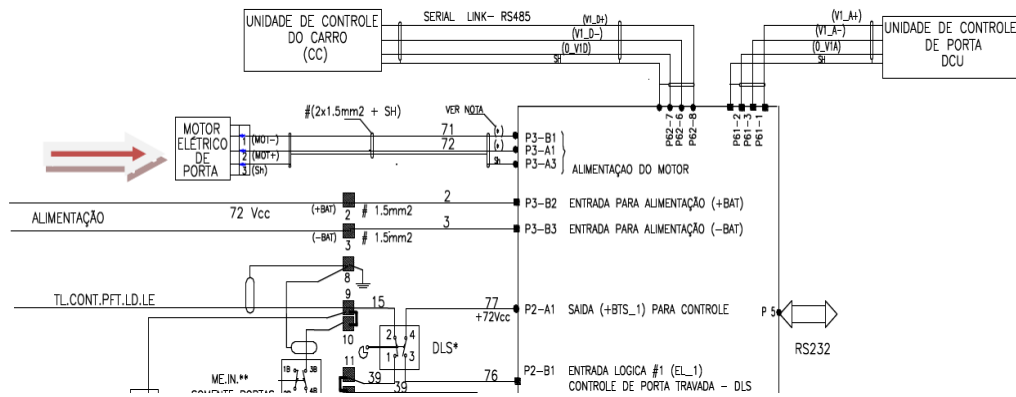
O conjugado depende da geometria do motor e das propriedades magnéticas. Esse motor é comumente utilizado no controle de velocidade.

### **3.2.3. Elementos mecânicos e elétricos da porta**

Ainda fazem parte do conjunto do sistema de porta o controlador individual de portas (Figura 9: Saída 72Vcc da Unidade Controladora de Porta (UDCE) para alimentação do motor elétrico) que alimenta a porta com 72Vcc; a sinalização sonora e visual de abertura e fechamento da porta; as folhas de porta esquerda e direita; e o mecanismo de suspensão e conjugação, que possui micro-switches de identificação de porta fechada e isolada, o parafuso infinito com porca bilha, onde correm as folhas de portas.

Fazem parte do sistema de portas a chave de serviço externa e o manípulo de emergência, porém esses não são de interesse no estudo.

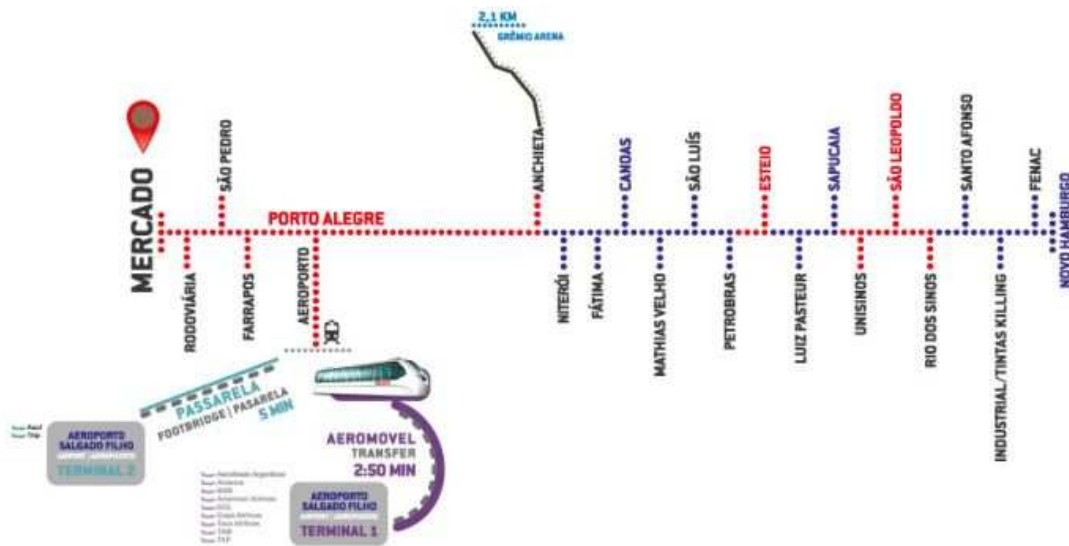
**Figura 9: Saída 72Vcc da Unidade Controladora de Porta (UDCE) para alimentação do motor elétrico**



### 3.3. Mapa de linha e informações da operação

A distância total da linha operacional da TRENURB totaliza 43 quilômetros, com duas vias de operação e possui 22 estações entre Porto Alegre e Novo Hamburgo. Tempo estimado do percurso total de cinquenta e três (53) minutos. Operando das 5h06 até as 23h25 todos os dias da semana.

**Figura 10: Mapa de linha da TRENURB**



Abaixo estão listadas as principais características de operação dos trens das portas de salão e informações sobre número de passageiros.

- Trens Unidade Elétrica
  - 25 trens da Série 100 e 15 trens da Série 200

- **Grade de circulação**
  - CT – máximo 19 missões – 1 missão ida ou volta de Porto Alegre à Novo Hamburgo–13 trens
  - CP – circula nos horários de pico – entre 5h e 8h e entre 16h e 19h – 24 trens
  - Dias de semana – máximo de missões – 243 viagens – 24 trens em CP e 13 em CT
  - Sábado – máximo de missões – 200 viagens – 11 trens
  - Domingo – máximo de missões – 143 viagens – 11 trens
  - Horário de funcionamento: 5h até as 23h25
- **Passageiros**
  - Máximo de passageiros, por trem–1280 passageiros
  - Passageiros transportados por dia – 150.000 passageiros, valor médio calculado a partir do número de passageiros da semana

### 3.4. Ciclo de portas de salão

Este trabalho tem interesse somente no horário de vale, que conta com os 13 trens em circulação total. Desses, 11 circulam e 2 ficam de reserva. O horário de vale contabiliza oito horas de circulação na manhã e na tarde mais quatro horas e meia à noite. Pode-se aproximar o número de missões para doze. Portanto, teremos 11 trens circulando durante 12 missões. Contabiliza-se no mínimo uma abertura e um fechamento de porta por estação, 22 aberturas e 22 fechamentos por missão. Levando em considerações que um trem pode fazer a grade de circulação de 19 missões em um dia, uma porta pode realizar no mínimo 418 ciclos. Porém devemos levar em conta que há inversão do lado de abertura, portanto o número de ciclos deve ser dividido por dois.

Calculando o número de ciclos de uma porta por trem no horário de vale (Cptv):

$$C_{ptv} = \frac{(22 \text{ aberturas} + 22 \text{ fechamentos}) \times 12 \text{ missões}}{2} = 264 \text{ ciclos em horário de vale (1)}$$

Pode-se calcular o número de ciclos que uma porta realiza em circulação total (Cptct):

$$C_{ptct} = \frac{(22 \text{ aberturas} + 22 \text{ fechamentos}) \times 19 \text{ missões}}{2} = 418 \text{ ciclos em circulação total (2)}$$

Calculando o número de ciclos de porta para um trem em horário de vale (Cpt):

$$C_{pt} = C_{ptv} * 32 = 8448 \text{ ciclos em um trem no horário de vale (3)}$$

Levando em consideração que o motor tem durabilidade de 3.000.000 de ciclos e que em um dia de circulação total temos 418 ciclos, podemos estimar que um motor de porta de salão tem vida útil de:

$$Vida \text{ útil} = \frac{3.000.000 \text{ ciclos}}{418 \text{ ciclos/dia}} = 7177,03 \text{ dias ou } 19,66 \text{ anos (4)}$$

Essa análise desconsidera dias parados para manutenção, falhas que indisponibilizam os trens, testes de abertura de portas no pátio, programação nos finais de semana e possíveis reciclos das portas. Foi adotado que o trem fará todos os dias da semana circulação total, como se todos os dias fossem dias úteis. Pois se levado em consideração todos esses fatores, o trabalho se tornaria muito extenso.

### 3.5. Consumo dos motores de portas de salão

O motor de porta do salão foi descrito na seção 2.2 do atual capítulo, mas foram feitas medidas de corrente e tensão em 4 trens para confirmar tempos de abertura e fechamento e valores de alimentação dos mesmos. Foram analisadas 6 portas no período entre dezembro de 2016 até abril de 2017. Utilizando um amperímetro em garra e um cronômetro para verificar os valores nominais expostos. Porém, as medições de corrente não estavam de acordo com o esperado. Limitações de intervenção no circuito por conta da garantia dos trens e proteção nos cabos de alimentação das portas, impediram de realizar outras formas de medição do consumo. A medição do tempo de abertura e fechamento condizem com o manual, entre 2,5 e 3 segundos.

Portanto, foi solicitado ao fabricante FAIVELEY dados sobre o consumo. A empresa enviou estudo feito nas portas dos trens da CPTM de São Paulo. Nele estão os valores de tensão, corrente e tempo de abertura de portas de um motor similar aos da TRENSURB. O fabricante não enviou quais as diferenças entre motores, então foi adotado o valor de corrente nominal para cálculo do consumo das portas durante o ciclo de abertura e fechamento.

A potência consumida por cada porta é calculada pelos valores nominais de corrente multiplicada pela tensão de entrada durante o ciclo de abertura/fechamento das portas (Pp):

$$P_p = V \times I = 72 \times 1,65 = 118,8 \text{ W (5)}$$

Energia envolvida no processo pode ser determinada por:

$$Ep = \frac{Pp \times tempo}{3600 \text{ segundos}} = \frac{118,8 \times 3,5}{3600} = 0,12 \text{ Wh} (6)$$

Consumo das portas por estação (Ppt):

$$Ppt = Pp \times 16 \text{ (portas)} \times 2 \text{ (abertura + fechamento)} = 118,8 \times 16 \times 2 = 3.801,6 \text{ W} (7)$$

$$Ept = \frac{Ppt \times tempo}{3600 \text{ segundos}} = \frac{3.801,6 \times 3,5}{3600} = 3,70 \text{ Wh} (8)$$

Consumo das portas em uma missão (Ppm):

$$Ppm = Ppt \times 22 \text{ estações} = 3.801,6 \times 22 = 83.635,2 \text{ W} (9)$$

$$Epm = \frac{Ppm}{3600 \text{ segundos}} = \frac{83.635,2}{3600} = 23,23 \text{ Wh} (10)$$

Expandido esse valor para a potência consumida por porta nos horários de vale (Pptv).

$$Pptv = Pp \times Cptv = 118,8 \text{ W} \times 264 \text{ ciclos} = 31,36 \text{ kW} (11)$$

$$Eptv = \frac{Pptv}{3600 \text{ segundos}} = \frac{31,36 \text{ kW}}{3600} = 8,71 \text{ kWh} (12)$$

A potência total consumida por trem em horário de vale (Ptv) é definida por:

$$Ptv = Pptv \times n^\circ \text{ de portas} = 31,36 \text{ kW} \times 16 \text{ portas} = 501,76 \text{ kW} (13)$$

$$Etv = \frac{Ptv}{3600 \text{ segundos}} = \frac{501,76 \text{ kW}}{3600} = 139,38 \text{ kWh} (14)$$

A potência total das portas consumida em horário de vale (P) por ser dado por:

$$P = Ptv \times n^\circ \text{ de trens} = 501,76 \text{ kW} \times 11 \text{ trens} = 5.519,36 \text{ kW} (15)$$

$$E = \frac{Ptv}{3600 \text{ segundos}} = \frac{5.519,36 \text{ kW}}{3600} = 1.533,16 \text{ kWh} (16)$$

### 3.6. Fluxo de passageiros no horário de vale e fluxo de passageiros por porta

A TRENSURB não possui estudo que indique quantos passageiros circulam pelas estações no horário de vale. Sabe-se quantas pessoas entram e saem da estação através de bloqueios (catracas), porém esses dados indicam a quantidade diária de pessoas por estação, por município, por trecho e fluxo sem avaliar os horários. A estação que mais possui fluxo de passageiros é a Mercado, que é uma das pontas da operação e tem maior movimento conforme quadro abaixo.

**Quadro 1: Passageiros transportados em Março/17**

<b>Relatório Passageiros Transportados - Por Total</b>							
<b>Período: 01/03/2017 a 31/03/2017</b>							
<b>ESTAÇÃO</b>	<b>PASSAGEIROS (Entrada)</b>	<b>PASSAGEIROS (Saída)</b>	<b>PASSAGEIROS (Ent+Sai)</b>	<b>ESTAÇÃO</b>	<b>PASSAGEIROS (Entrada)</b>	<b>PASSAGEIROS (Saída)</b>	<b>PASSAGEIROS (Ent+Sai)</b>
<b>MR</b>	731344	756529	1487873	<b>PB</b>	39106	39209	78315
<b>RD</b>	365254	335894	701148	<b>ES</b>	277959	292639	570598
<b>SP</b>	83151	87049	170200	<b>LP</b>	93945	88541	182486
<b>FR</b>	239716	217437	457153	<b>SC</b>	390466	403542	794008
<b>AP</b>	99947	114120	214067	<b>UN</b>	165920	190291	356211
<b>SG</b>	40835	40636	81471	<b>SO</b>	316892	327810	644702
<b>AN</b>	85690	85726	171416	<b>RS</b>	81939	69042	150981
<b>NT</b>	250124	261365	511489	<b>SF</b>	91056	90867	181923
<b>FT</b>	133952	129955	263907	<b>IN</b>	55331	51165	106496
<b>CN</b>	476452	517510	993962	<b>FN</b>	52465	59623	112088
<b>MV</b>	356000	331237	687237	<b>NH</b>	301498	293138	594636
<b>SL</b>	136527	146655	283182	<b>TOTAL</b>	4865569	4929980	9795549

O fluxo de passageiros por estação e horário é difícil de obter com precisão, já que não existe um método único para avaliar. Existem as catracas de entrada e saída, a variação de peso do trem e a análise de vídeo interno e das estações. Para análise de fluxo de passageiros por estação em horário de vale foi feita análise da variação de peso dos carros a cada estação. O número de passageiros foi calculado pelo peso de carga do carro (toneladas) dividido por 60 quilos, parâmetro utilizado para testes dinâmicos do trem. A amostragem é a cada 80 milissegundos, aproximadamente, e a variação de peso durante o trajeto pode ser desconsiderada. Abaixo estão alguns gráficos do dia 30/03/2017, quinta-feira, mostrando os valores encontrados.

Figura 11: Variação de passageiros por horário no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40

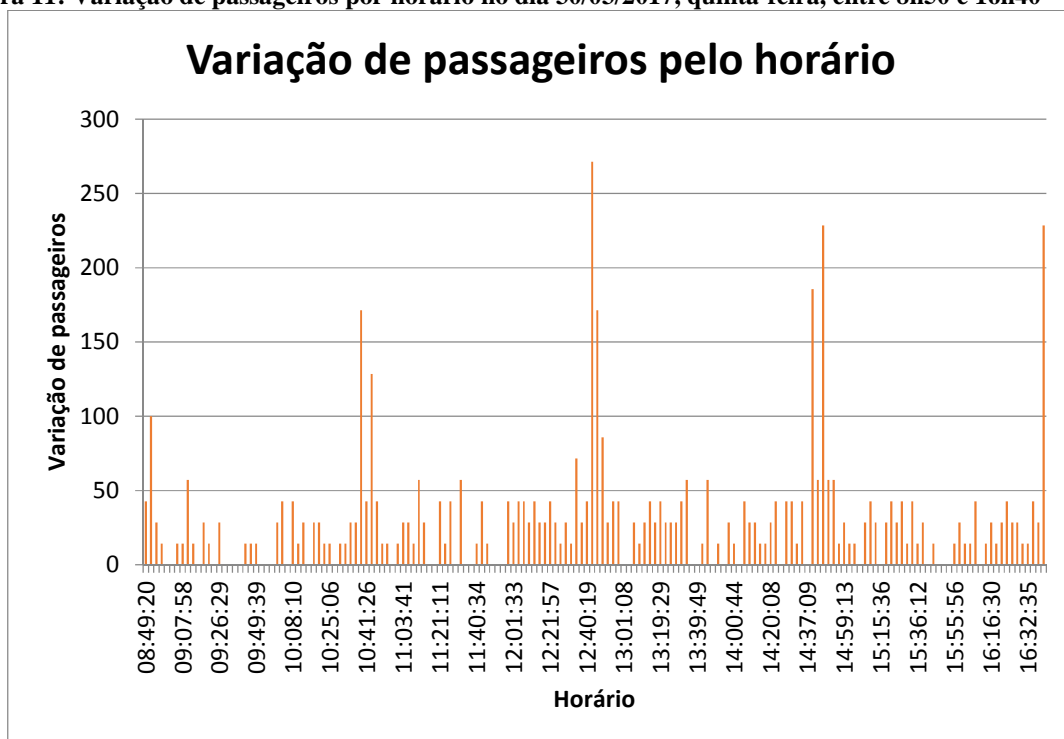


Figura 12: Variação de passageiros por estação no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40

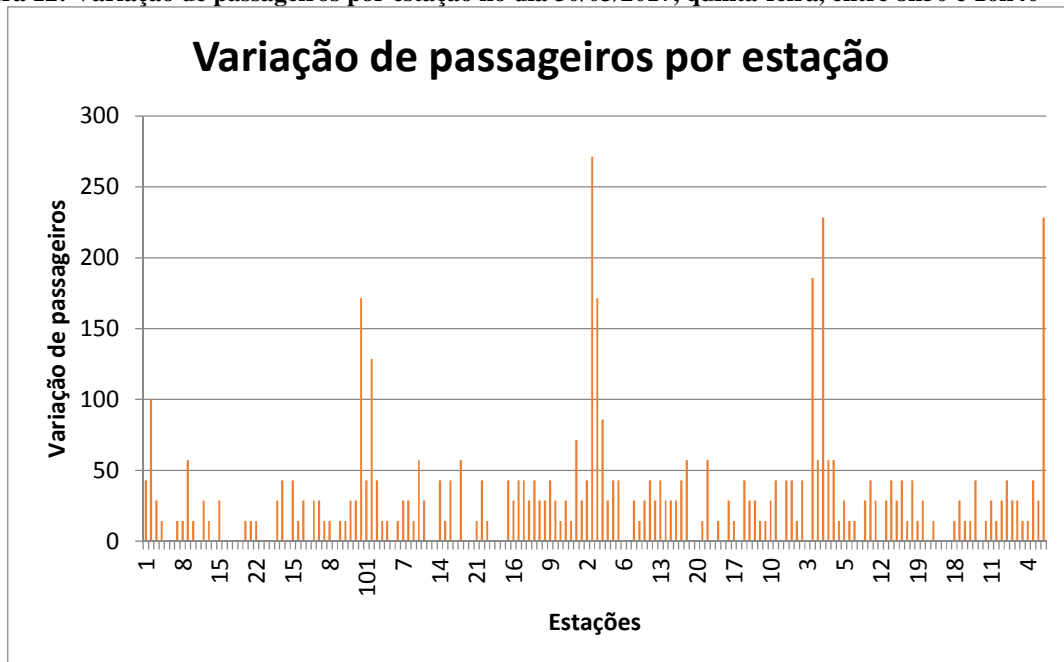
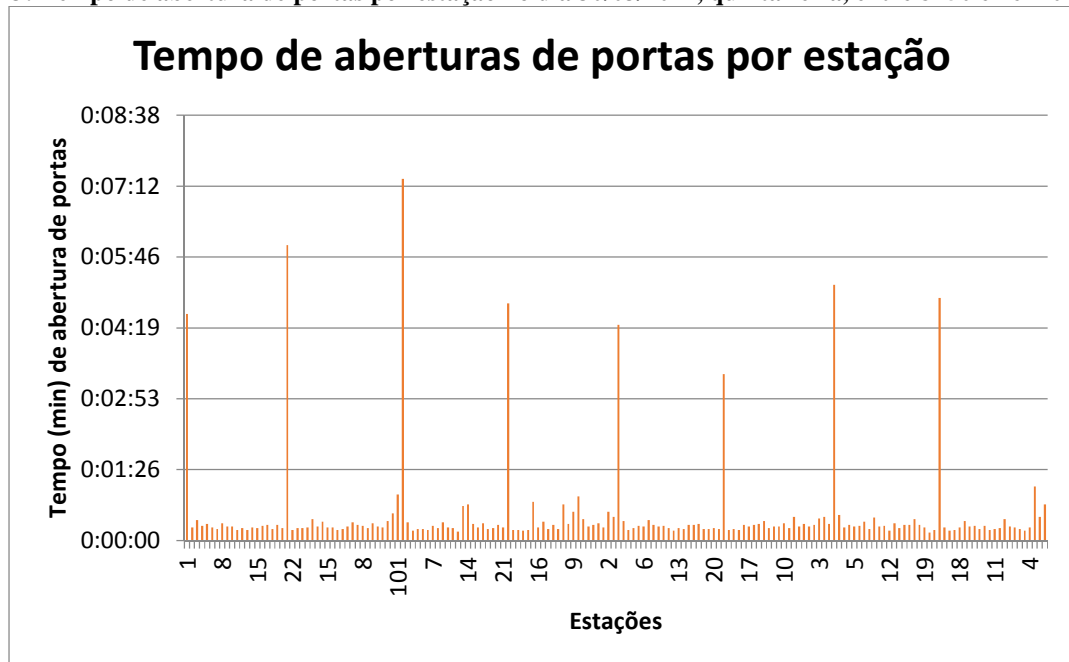


Figura 13: Tempo de abertura de portas por estação no dia 30/03/2017, quinta-feira, entre 8h50 e 16h40



Através de vídeo interno dos trens, foi feita análise de quantas pessoas atravessam as portas de salão na abertura das portas para se estimar o fluxo de pessoas por porta. Analisando vídeos internos e externos dos trens do dia 28/03/17 entre os horários de 17h e 19h, pode-se estimar que passam pela porta de salão de 2 a 3 pessoas por segundo. Sendo 3 pessoas o valor de quando só há um sentido.

O período de avaliação dos vídeos e dados foi março de 2017 e os dados de passageiros foram coletados em 7 dias, um dia da semana, entre os períodos de março a maio de 2017 (30/03 17 missões, 31/03 12 missões e retirado durante operação comercial, 17/04 6 missões, 18/04 9 missões, 19/04 12 missões e retirado durante operação comercial, 06/05 9 missões e 07/05 16 missões).



#### 4. METODOLOGIA

Como parte do trabalho, foram feitas pesquisas bibliográficas procurando como termo principal “portas de salão de passageiros” e secundariamente artigos referentes a trens. A bibliografia sobre equipamentos ferroviários é rara e no Brasil quase inexistente. Temas abordados são tempo de espera em estação [7], satisfação de usuários [4], distribuição de usuários dentro dos carros [5] e propagação de fogo no salão de passageiros [13].

Para elaborar as medições de variação de passageiros por estação utilizando os dados descritos no capítulo anterior item 3.6, foram compilados os dados do registrador de eventos dos trens da Série 200. Foram selecionados somente os dados relevantes ao trabalho, como o peso e o tempo de portas abertas. A amostragem dos dados é de 80 milissegundos. Abaixo está o quadro 2 que contém uma viagem das 62 selecionadas. Nesse quadro os itens em **negrito** são retirados diretamente do trem e os itens em *itálico* foram calculados. Para cálculo do número de passageiros do trem é utilizado o peso total dividido por 60 quilos. Este é um peso padrão para cálculos de projeto do trem. A variação de passageiros é calculada através da variação de peso de carro na saída e na chegada do trem na estação.

**Quadro 2: Exemplo de planilha de registro de eventos para uma missão**

<b>Data - Hora</b>	<b>Distância</b>	<b>Peso MA</b>	<b>Peso RA</b>	<b>Peso RB</b>	<b>Peso MB</b>	<b>ID da Estação Atual</b>	<b>Peso Total (ton)</b>	<i>Passageiros</i>	<i>Varição de passageiros</i>	<b>Tempo portas abertas</b>
30/03/17 - 08:49:20	103049	1	2	0	0	1	3	43	43	0:04:36
30/03/17 - 08:53:39	106056	3	4	2	1	2	10	143	100	0:00:16
30/03/17 - 08:56:33	107861	3	5	3	1	3	12	171	29	0:00:25
30/03/17 - 08:59:01	109800	3	5	3	2	4	13	186	14	0:00:18
30/03/17 - 09:00:53	111055	3	5	3	2	5	13	186	0	0:00:20
30/03/17 - 09:03:26	113482	3	5	3	2	6	13	186	0	0:00:16
30/03/17 - 09:05:31	115362	3	5	3	3	7	14	200	14	0:00:14
30/03/17 - 09:07:58	117564	3	4	3	3	8	13	186	14	0:00:21
30/03/17 - 09:09:59	119272	1	3	2	3	9	9	129	57	0:00:17
30/03/17 - 09:12:24	121180	1	3	2	2	10	8	114	14	0:00:17
30/03/17 - 09:14:08	122419	1	3	2	2	11	8	114	0	0:00:13
30/03/17 - 09:17:13	125219	1	3	1	1	12	6	86	29	0:00:15
30/03/17 - 09:19:50	127837	1	2	1	1	13	5	71	14	0:00:13
30/03/17 - 09:22:13	129823	1	2	1	1	14	5	71	0	0:00:16
30/03/17 - 09:26:29	134534	0	1	1	1	15	3	43	29	0:00:15
30/03/17 - 09:28:46	136579	0	1	1	1	16	3	43	0	0:00:18
30/03/17 - 09:31:17	138983	0	1	1	1	17	3	43	0	0:00:19
30/03/17 - 09:33:38	141169	0	1	1	1	18	3	43	0	0:00:14
30/03/17 - 09:35:31	142818	0	1	1	1	19	3	43	0	0:00:19
30/03/17 - 09:37:35	144500	0	1	1	0	20	2	29	14	0:00:15
30/03/17 - 09:47:29	146078	0	1	0	0	21	1	14	14	0:06:00
30/03/17 - 08:49:20	103049	1	2	0	0	1	3	43	43	0:04:36

Para analisar somente pelos horários de vale, ainda foi feita uma segunda compilação. Nesse quadro estão somente os horários, a estação, a variação de passageiros e o tempo de portas abertas.

**Quadro 3: Exemplo de quadro com os dados relevantes para uma missão**

<i>30/03/2017</i>			
<b>Data - Hora</b>	<b>ID da Estação Atual</b>	<i>Varição de passageiros</i>	<i>Tempo portas abertas</i>
08:49:20	1	43	0:04:36
08:53:39	2	100	0:00:16
08:56:33	3	29	0:00:25
08:59:01	4	14	0:00:18
09:00:53	5	0	0:00:20
09:03:26	6	0	0:00:16
09:05:31	7	14	0:00:14
09:07:58	8	14	0:00:21
09:09:59	9	57	0:00:17
09:12:24	10	14	0:00:17
09:14:08	11	0	0:00:13
09:17:13	12	29	0:00:15
09:19:50	13	14	0:00:13
09:22:13	14	0	0:00:16
09:26:29	15	29	0:00:15
09:28:46	16	0	0:00:18
09:31:17	17	0	0:00:19
09:33:38	18	0	0:00:14
09:35:31	19	0	0:00:19
09:37:35	20	14	0:00:15
09:47:29	21	14	0:06:00
09:49:39	22	14	0:00:13

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando os dados de consumo das portas, a variação do número de passageiros do trem e da vazão de pessoas por uma porta, podemos criar propostas de operação do trem com variações do número de portas. As duas principais a serem demonstradas são por número de portas a serem abertas pré-definidas e uma proposta tendo o usuário como decisão de abertura da porta.

Para os itens abaixo, considera-se que a porta deixada fechada será obrigatoriamente no horário de pico. Portanto, seu ciclo por dia seria de:

$$\text{Número de ciclos em circulação total} = 418 - 264 = 154 \text{ ciclos (17)}$$

A alimentação dos motores 72Vcc das portas é provida pelo conversor estático do trem, que é responsável alimentação de baixa tensão do trem (380Vca, 220Vca) e tem potência nominal de 13kW. Existem dois conversores no trem que são utilizados simultaneamente, totalizando 26 kW. Vale deixar claro que o maior consumo está ligado ao ar condicionado e podemos adotar que toda a potência gerada pelo conversor é utilizada. Na figura abaixo estão as características do conversor relacionadas somente a saída de corrente contínua.

**Quadro 4: Características do conversor de energia**

Tensão nominal de entrada	380 Vrms +/-5% – 60 Hz
Tensão nominal de saída	72 Vcc
Alimentação contínua	13 kW
Ondulação de tensão de saída	1% rms
A tensão de saída de flutuação medida na saída do conversor	82,5 Vcc Temperatura da bateria
Limitação da corrente	TBD
Investigações de temperatura da bateria	Não
Limitação da corrente da bateria	36A (a ser confirmado) para Ubat ≤82,5V 0A para Ubat ≥ 85,5 V diminuição linear entre 82,5 V e 85,5V
Polo negativo	Não conectado ao chassi do veículo dentro da unidade auxiliar
Comprimento do cabo entre CVS e bateria	<5m
Eficiência no modo normal	≥ 90%

### 5.1. Três portas abertas por carro

Tendo 3 portas abertas por carro em um trem composto por 4 carros, temos um total de 12 portas disponíveis. Considerando que a porta ficaria 1 dia desligada em vale a cada 4 dias, a redução de ciclos seria de:

$$Vida\ útil = \frac{3.000.000\ ciclos}{(3x418+1x154)\ ciclos/dia} x4 = 8.522,73\ dias\ ou\ 23,35\ anos\ (18)$$

A potência reduzida de uma porta por carro é determinada por:

$$P_{1p} = Pp \times 4 = 118,8\ W \times 4\ portas = 475,2\ W\ (19)$$

Redução percentual de 1,83% em relação ao conversor. Comparado ao consumo em cada estação, teríamos uma redução de 25% por conta da abertura e fechamento.

### 5.2. Duas portas abertas por carro

Tendo 2 portas abertas por carro em um trem composto por 4 carros, temos um total de 8 portas disponíveis. Considerando que a porta ficaria 2 dias desligadas em vale a cada 4 dias, a redução de ciclos seria de:

$$Vida\ útil = \frac{3.000.000\ ciclos}{(2x418+2x154)\ ciclos/dia} x4 = 10.489,51\ dias\ ou\ 28,78\ anos\ (20)$$

A potência reduzida de duas portas por carro é determinada por:

$$P_{2p} = Pp \times 8 = 118,8\ W \times 8\ portas = 950,4\ W\ (21)$$

Redução percentual de 3,66% em relação ao conversor. Comparado ao consumo em cada estação, teríamos uma redução de 50,0% por conta da abertura e fechamento.

### 5.3. Uma porta aberta por carro

Tendo 1 porta aberta por carro em um trem composto por 4 carros, temos um total de 4 portas disponíveis. Considerando que a porta ficaria 3 dias desligada em vale a cada 4 dias, a redução de ciclos seria de:

$$Vida\ útil = \frac{3.000.000\ ciclos}{(1x418+3x154)\ ciclos/dia} x4 = 13.636,36\ dias\ ou\ 37,36\ anos\ (22)$$

A potência reduzida de três portas por carro é determinada por:

$$P_{3p} = Pp \times 12 = 118,8\ W \times 12\ portas = 1.425,6\ W\ (23)$$

Redução percentual de 5,48% em relação ao conversor. Comparado ao consumo em cada estação, teríamos uma redução de 75% por conta da abertura e fechamento.

Os casos acima não consideram o fluxo de passageiros por porta nem a demanda real de passageiros por estação, então foi feita uma análise somente para esse cenário.

#### **5.4. Número de portas compatíveis com a demanda e fluxo de passageiros**

Pode-se pensar em duas alternativas para analisar a demanda real: uma missão dentro do horário de vale ou pegar o fluxo médio de passageiros nos horários de vale. Foi tomado o segundo caso porque existem alguns casos que a variação de peso não foi identificada. A identificação 101 refere-se a plataforma da via 1 na estação Mercado. A identificação 1 refere-se a plataforma na via 2 Mercado. A identificação 122 refere-se a plataforma de chegada da via 2 na estação Novo Hamburgo, sendo pouco utilizada. A identificação 22 refere-se a plataforma da via 1 na estação Novo Hamburgo, mas também é utilizado como chegada ao norte. Isso comprometeu a medição da variação de passageiros por estação. A análise abaixo está relacionada aos 7 dias descritos anteriormente.

**Quadro 5: Média de passageiros e média do tempo de portas abertas por estação**

<b>Id da estação</b>	<b>Média de Variação de passageiros</b>	<b>Média de Tempo portas abertas</b>
<b>1 - Mercado (N)</b>	135	05:10
<b>2 - Rodoviária</b>	67	00:24
<b>3 - São Pedro</b>	33	00:16
<b>4 - Farrapos</b>	23	00:18
<b>5 - Aeroporto</b>	21	00:19
<b>6 - Anchieta</b>	22	00:16
<b>7 - Niterói</b>	15	00:23
<b>8 - Fátima</b>	24	00:19
<b>9 - Canoas</b>	33	00:23
<b>10 - Mathias Velho</b>	36	00:20
<b>11 - São Luís</b>	20	00:17
<b>12 - Petrobrás</b>	20	00:14
<b>13 - Esteio</b>	20	00:19
<b>14 - Luiz Pasteur</b>	33	00:17
<b>15 - Sapucaia</b>	31	00:22
<b>16 - Unisinos</b>	38	00:18
<b>17 - São Leopoldo</b>	26	00:19
<b>18 - Rio dos Sinos</b>	19	00:15
<b>19 - Santo Afonso</b>	4	00:15
<b>20 - Industrial</b>	7	00:13
<b>21 - FENAC</b>	10	00:21
<b>22 - Novo Hamburgo (S)</b>	45	04:50
<b>101 - Mercado (S)</b>	207	00:33
<b>122 - Novo Hamburgo (N)</b>	48	00:43

Levando em consideração o quadro acima e também o fluxo de passageiros, foi desenvolvida uma proposta ideal para aberturas de portas. Considerando que as estações finais teriam todas as portas abertas e o tempo médio de abertura das portas. Conforme análise abaixo, a maioria dos casos seria necessário somente uma porta por estação.

Quadro 6: Número de portas adequadas à demanda verificada

Id da estação	Média de Variação de passageiros	Uma porta aberta	Duas portas abertas
1 - Mercado (N)	135	-	-
2- Rodoviária	67	48	96
3 - São Pedro	33	32	64
4 - Farrapos	23	36	72
5 - Aeroporto	21	38	76
6 - Anchieta	22	32	64
7 - Niterói	15	46	92
8 - Fátima	24	38	76
9 - Canoas	33	46	92
10 - Mathias Velho	36	40	80
11 - São Luís	20	34	68
12 - Petrobrás	20	28	56
13 - Esteio	20	38	76
14 - Luiz Pasteur	33	34	68
15 - Sapucaia	31	44	88
16 - Unisinos	38	36	72
17 - São Leopoldo	26	38	76
18 - Rio dos Sinos	19	30	60
19 - Santo Afonso	4	30	60
20 - Industrial	7	26	52
21 - FENAC	10	42	84
22 - Novo Hamburgo (S)	45	-	-
101 - Mercado (S)	207	-	-
122 - Novo Hamburgo (N)	48	-	-

Criando um cenário de consumo ideal em uma missão no horário de vale.



**Quadro 7: Viagem no vale com número de portas adequada à demanda**

<b>Id da estação</b>	<b>Portas abertas</b>	<b>Consumo na estação (W)</b>
<b>1 - Mercado (N)</b>	16	3.801,60
<b>2- Rodoviária</b>	2	475,20
<b>3 - São Pedro</b>	2	475,20
<b>4 - Farrapos</b>	1	237,60
<b>5 - Aeroporto</b>	1	237,60
<b>6 - Anchieta</b>	1	237,60
<b>7 - Niterói</b>	2	475,20
<b>8 - Fátima</b>	1	237,60
<b>9 - Canoas</b>	1	237,60
<b>10 - Mathias Velho</b>	1	237,60
<b>11 - São Luís</b>	1	237,60
<b>12 - Petrobrás</b>	1	237,60
<b>13 - Esteio</b>	1	237,60
<b>14 - Luiz Pasteur</b>	1	237,60
<b>15 - Sapucaia</b>	1	237,60
<b>16 - Unisinos</b>	2	475,20
<b>17 - São Leopoldo</b>	1	237,60
<b>18 - Rio dos Sinos</b>	1	237,60
<b>19 - Santo Afonso</b>	1	237,60
<b>20 - Industrial</b>	1	237,60
<b>21 - FENAC</b>	1	237,60
<b>22 - Novo Hamburgo (S)</b>	16	3.801,60
<b>Total consumido em uma missão</b>		13.305,60

Como a porta escolhida não seria fixa, fica improvável a redução do número de ciclos. A única afirmação possível é que iria se diminuir a utilização das mesmas.

Esse cenário proposto equivale a uma redução de 70,33kW (84,09 %) em uma missão.

### **5.5. Propostas**

A utilização de dispositivos internos e externos para abertura de porta, como demonstrado na Figura 14: Exemplo de abertura pelo usuário em trens de Portugal. Sendo que o operador de trem teria uma chave no console de liberação denominada “liberação de abertura de portas” podendo ser instalada na Figura 15: Abertura de portas na cabine, vista lateral. O fechamento ainda estaria em controle do operador. O processo de abertura pelo usuário seguiria a mesma lógica que já é utilizada quando é feita abertura na cabine, ou seja, reciclo, aviso sonoro e

luminoso. Essa solução teria custo de instalação e demandaria alteração no software/lógica de abertura das portas.

**Figura 14: Exemplo de abertura pelo usuário em trens de Portugal**



**Figura 15: Abertura de portas na cabine, vista lateral**



Outra alternativa seria isolar “manualmente” as portas, ou seja, pré-definir quais portas serão abertas. Assim não necessitando da instalação do sistema de abertura das portas pelo usuário. Bastaria deixar um aviso luminoso interno informando ou avisos visuais informando que

nem todas as portas abrirão nessa estação. Essa solução não teria custo de instalação, mas demandaria alteração no software/lógica de abertura das portas.

As principais vantagens que posso listar no caso de abertura de portas pelo usuário:

- Economia de energia do sistema conforme já analisado nos casos acima. Não foi considerado para cálculo o possível consumo do dispositivo para abertura de porta pelo usuário.
- Eficiência maior no sistema de refrigeração do salão de passageiros, já que ocorrerão menos trocas de calor com o exterior.
- Menor desgastes em elementos mecânicos do sistema de portas. Desgaste na porca bilha das portas vai diminuir, já que a mesma sofre desgaste no processo de abertura/fechamento. Menor utilização dos micro-switches de portas, que são sistemas eletromecânicos e a parte mais frágil do sistema. O desgaste das escovas do motor é muito pequeno na configuração atual de abertura de portas. Fica em torno de 0,0122mm a cada 10.000 km, portanto é desprezível nesse estudo.
- Aumento na quilometragem de manutenções do sistema e menor utilização de materiais consumíveis (lubrificante, panos, peças). A substituição dos componentes do motor ocorre com 1.200.00km, o que está previsto para 10 anos. Pode-se calcular a quilometragem das portas

$$Q_p = 19 \text{ missões} \times 43 \text{ quilômetros} - 7 \text{ missões} \times 43 \text{ quilômetros} = 516 \text{ km por dia (24)}$$

Enquanto o total seria de algo em torno de 900km (dia útil). O que praticamente dobraria o tempo das revisões. As atividades de uma revisão geral somam um total de 2 horas de atividade por porta a um custo de R\$23,33 por hora, contabilizando no total R\$1.493,12.

- Evitar a entrada de poeira e sujeiras nos vãos das portas de salão. Dificultando tanto o movimento das folhas de porta entrando no vão horizontal, como o movimento da porca no varão por entrada vertical.
- Possível diminuição de “headway” (intervalo de tempo entre trens) nos horários de pico, já que a lógica de abertura de portas poderia ser colocada em prática no sentido de menor movimento. Essa afirmação pode não ser posta em prática por

limitações operacionais como consumo de energia, sinalização e quantidade de passageiros em um sentido.

## 5.6. Discussões

As falhas de portas de um trem podem, dependendo de seu nível, retirar o trem de operação para seu conserto na oficina. O que geralmente acontecem, já que o laço de portas faz parte do sistema de tração e segurança do trem. Assim, gerando atrasos operacionais e gastos de manutenção. Sendo que muitas dessas falhas não são de fácil identificação, vide gráfico abaixo o percentual de 37% de reparos como rearme, reset ou reinicialização do sistema de portas que resolve o problema. O artigo [6] com 42,4% também possui alto percentual de falhas não identificadas.

Figura 16: Gráfico das falhas de portas dos trens TRENSURB

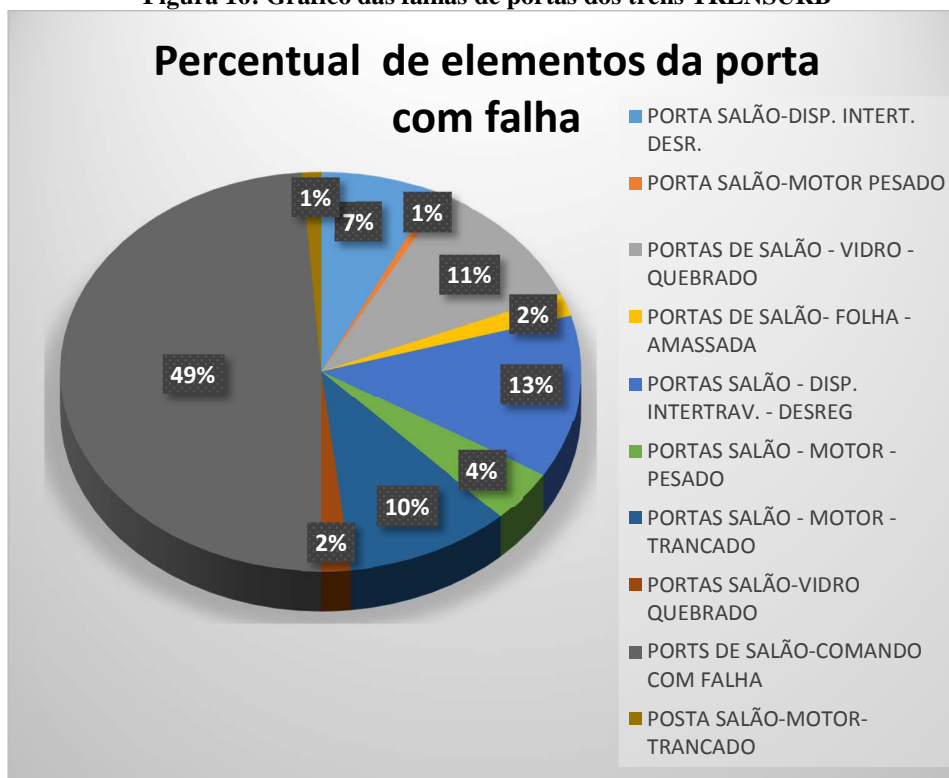
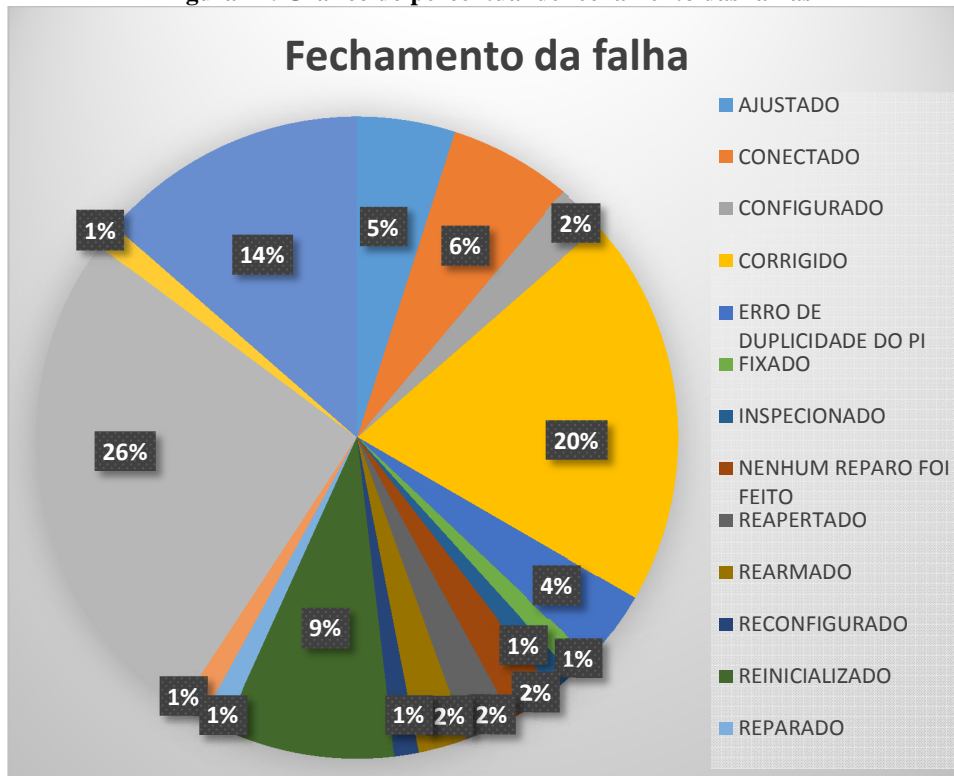


Figura 17: Gráfico do percentual de fechamento das falhas



## 6. CONCLUSÃO

O trabalho, através da análise do fluxo de passageiros por porta e por estação, do ciclo e consumo de portas, serviu para demonstrar que a demanda de passageiros em horário de vale é baixa e é válido utilizar sistemas de abertura de portas individuais. Baseado nessas informações, algumas propostas estão descritas a seguir e as vantagens dessas alterações também.

Do ponto de vista de redução de ciclos, essa análise vale também para os trens da série 100. A abertura de portas é feita por suprimento de ar, porém o comando para isso é muito semelhante aos trens da série 200.

A implementação dos sistemas acima citados não foi considerada nesse trabalho e fica como pesquisas futuras na área. Assim como fazer a análise estatística do número de viagens necessárias a serem analisadas para conseguir uma significância de 95%; o estudo de eficiência térmica com o fechamento das portas nas estações; variações nos tempos de abertura e fechamento das portas; e ganhos no sistema da Série 100.

## REFERÊNCIAS

- 1 ALSTOM; FAIVELEY. **Manual de manutenção AG80000 dos trens Série 200**. São Paulo, v.2, 2014. 277 p.
- 2 ALSTOM. **Manual de operação AG1000**. São Paulo, v.2, 2014. 451 p.
- 3 BRASIL. Ministério de minas e energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PNE/20080111\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf). Acesso em 09/06/2017.
- 4 CAIAFA, J. Automação e agência humana na Linha 4-Amarela do metrô de São Paulo. **Galaxia**. São Paulo. n. 29, 2015. p. 83-95. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-25542015120132>. Acesso em 09/06/2017.
- 5 COXON, S.; BURNS, K.; DE BONO, A. Design strategies for mitigating passenger door holding behavior on suburban trains in Paris. **Australasian Transport Research Forum (ATRF)**, 33rd. 2010. Canberra, ACT, Australia. 15p, 33 v.
- 6 DINMOHAMMADI, F.; BÉRENGUER, C.; ALKALI, B.; SHAFIEE, M.; LABIB, A. Risk Evaluation of Railway Rolling Stock Failures Using FMECA Technique: A Case Study of Passenger Door System. [S.l]:**UrbanRail Transit**, v.2,2016, p.128-145.
- 7 FERNÁNDEZ, R.; DE LOS ÁNGELES DEL CAMPO, M.; SWETT, C. DATA COLLECTION AND CALIBRATION OF PASSENGER SERVICE TIME MODELS FOR THE TRANSANTIAGO SYSTEM. **EuropeanTransportConference 2009**. Holanda, outubro 2008.
- 8 FITZGERALD, A.E.; KINGSLEY, C. JR; UMANS, S. D. Tradução Anatólio Laschuk. **Máquinas elétricas**. 6. ed. Porto Alegre:Bookman, 2006. 648 p.
- 9 HADDAD, J. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 11, n. 1, 2005. Disponível em: <http://new.sbpe.org.br/revista/volume-11-no01-ano-2005//>. Acesso em: 09/06/2017.
- 10 SANTOS, A. H. M. et. al. **Eficiência Energética: teoria e prática**. Eletrobrás, Itajubá, 2007.
- 11 VIANA, A. N. C. et. al. Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações. **ELEKTRO**. Campinas, 1. ed., 2012. Disponível em: [http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientização%20Energética/Livro\\_Eficiencia\\_Energetica.pdf](http://www.elektro.com.br/Media/Default/DocGalleries/Eficientização%20Energética/Livro_Eficiencia_Energetica.pdf). Acesso em 09/06/2017.
- 12 VITAL, D.M.L. **Análise estatística inicial do perfil de consumo energético de um trem metropolitano**. Porto Alegre, 2014. 26 p.

- 13 WHITE, N.; DOWLING, V.P; BARNETT, J.R. Full-scale Fire Experiment On A Typical Passenger Train.**IAFFS Symposiums**. Fire Science 8.2005. p. 1157-1168. Disponível em: [http://www.iafss.org/publications/fss/8/1157/view/fss\\_8-1157.pdf](http://www.iafss.org/publications/fss/8/1157/view/fss_8-1157.pdf). Acesso em 09/06/2017.