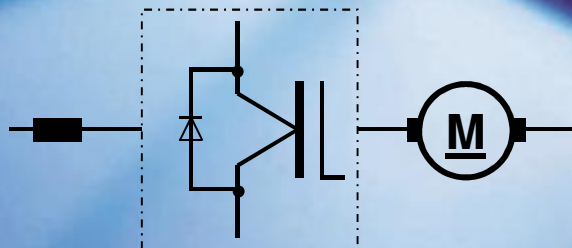


Siemens Sistemas de Transporte

Soluções Eficientes para o
Transporte Ferroviário





Nova aplicação de sistemas chopper de tração

- **Utilização de IGBT**

- **Aplicação na substituição de sistemas de tração de c.c. existentes:**
 - ✓ Equipamentos chopper com tiristores / GTO's
 - ✓ Equipamentos com comutadores electromecânicos

- **Aplicação como medida de economia de energia**

- **Modernização de equipamentos de tração, visando:**
 - ✓ Redução dos custos de manutenção
 - ✓ Aumento da confiabilidade

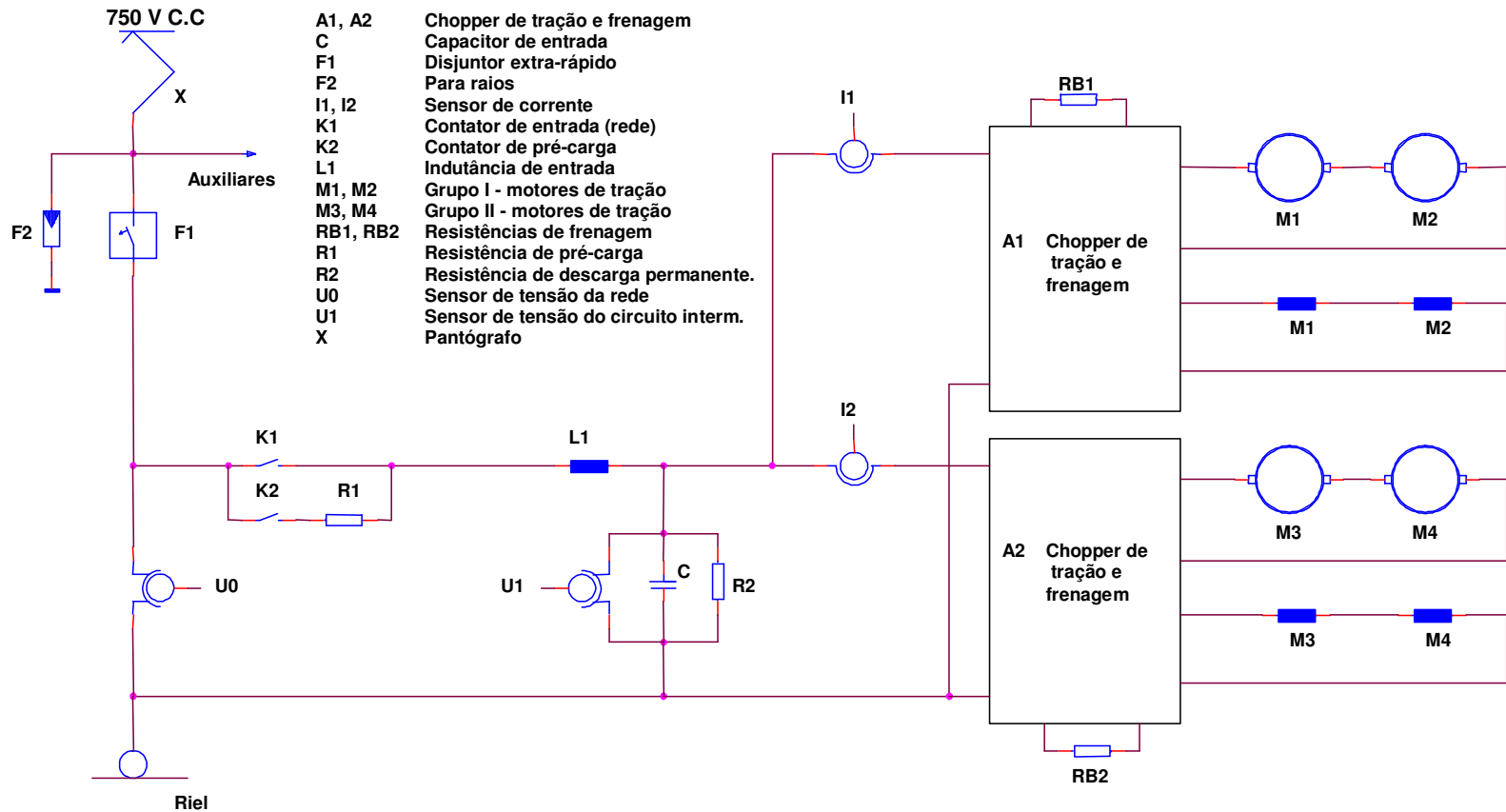


Princípio técnico do chopper IGBT

- **Aproveitar as características técnicas oferecidas pelo IGBT**
- **Aproveitamento dos motores de tração de CC e redutores originais**
- **Aproveitamento da faixa completa da tensão de serviço dos motores de tração**
- **Fazer a separação entre as condições operacionais dos motores de tração e as condições da rede.**
- **Operação dos motores de tração em pleno campo, sem necessidade de enfraquecimento de campo.**

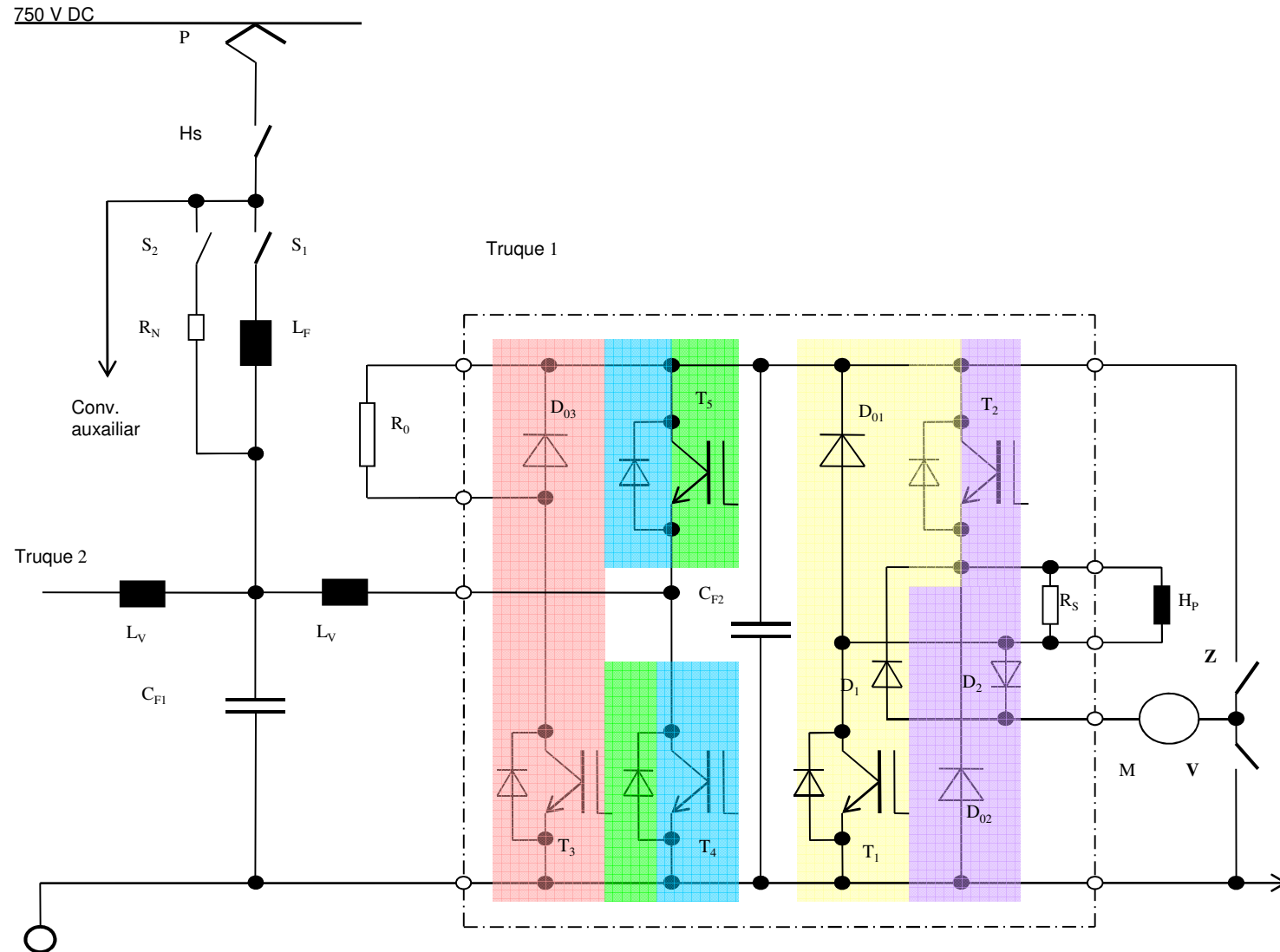


Circuito de tração





Redução de contatos (contatores)



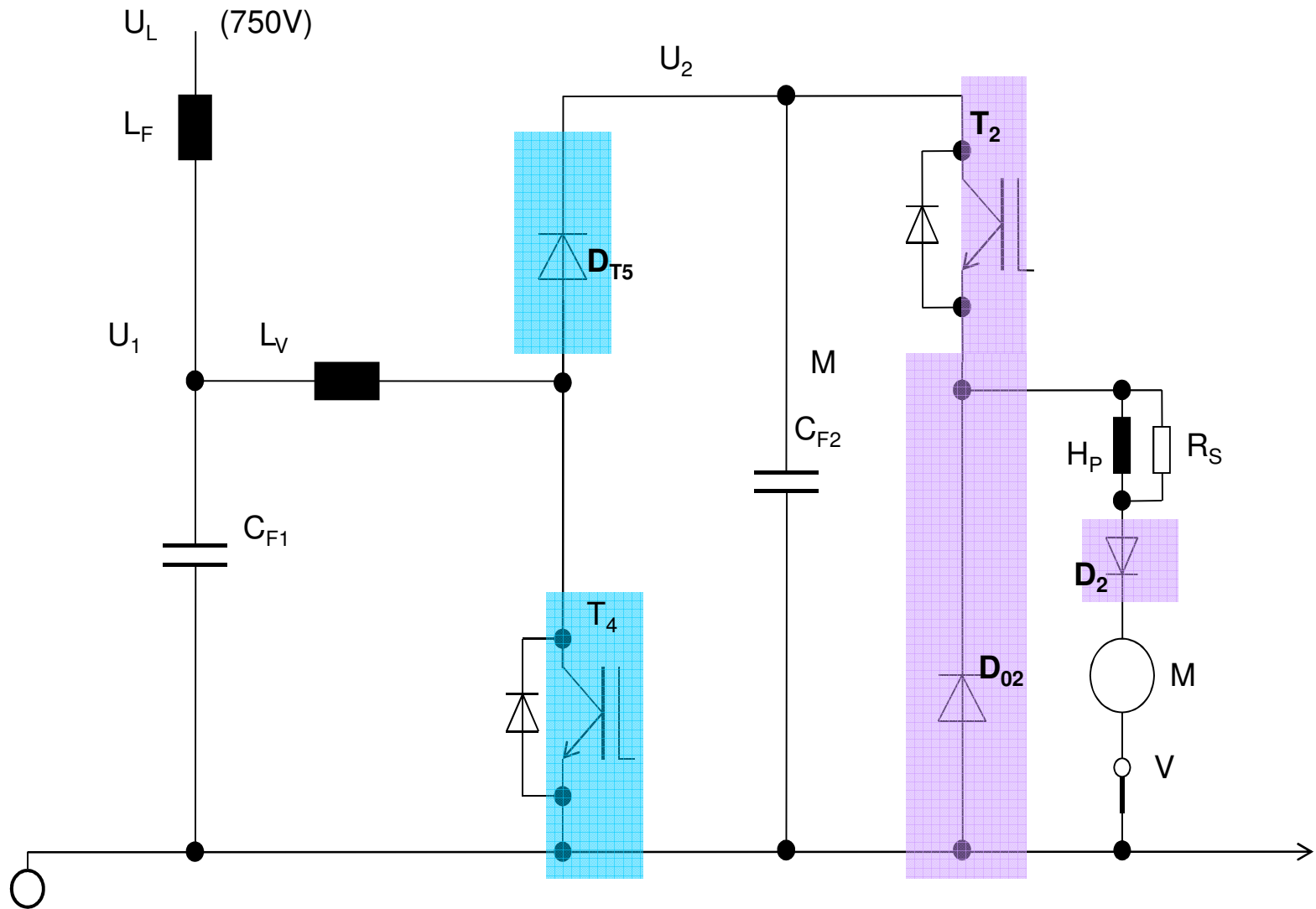


Redução de Contatos (contatores)

- Para um circuito de 4 motores, são necessários somente 6 contatores que operam sem corrente:
 - ✓ 4 contatores de inversão de marcha (2 por conjunto de motor)
 - ✓ 1 contator de rede
 - ✓ 1 contator de pré-carga
- **São eliminados:**
 - ✓ contatores de enfraquecimento de campo
 - ✓ contatores de inversão de marcha
 - ✓ contatores de comutação marcha/frenagem
 - ✓ contatores de pré-resistências de frenagem



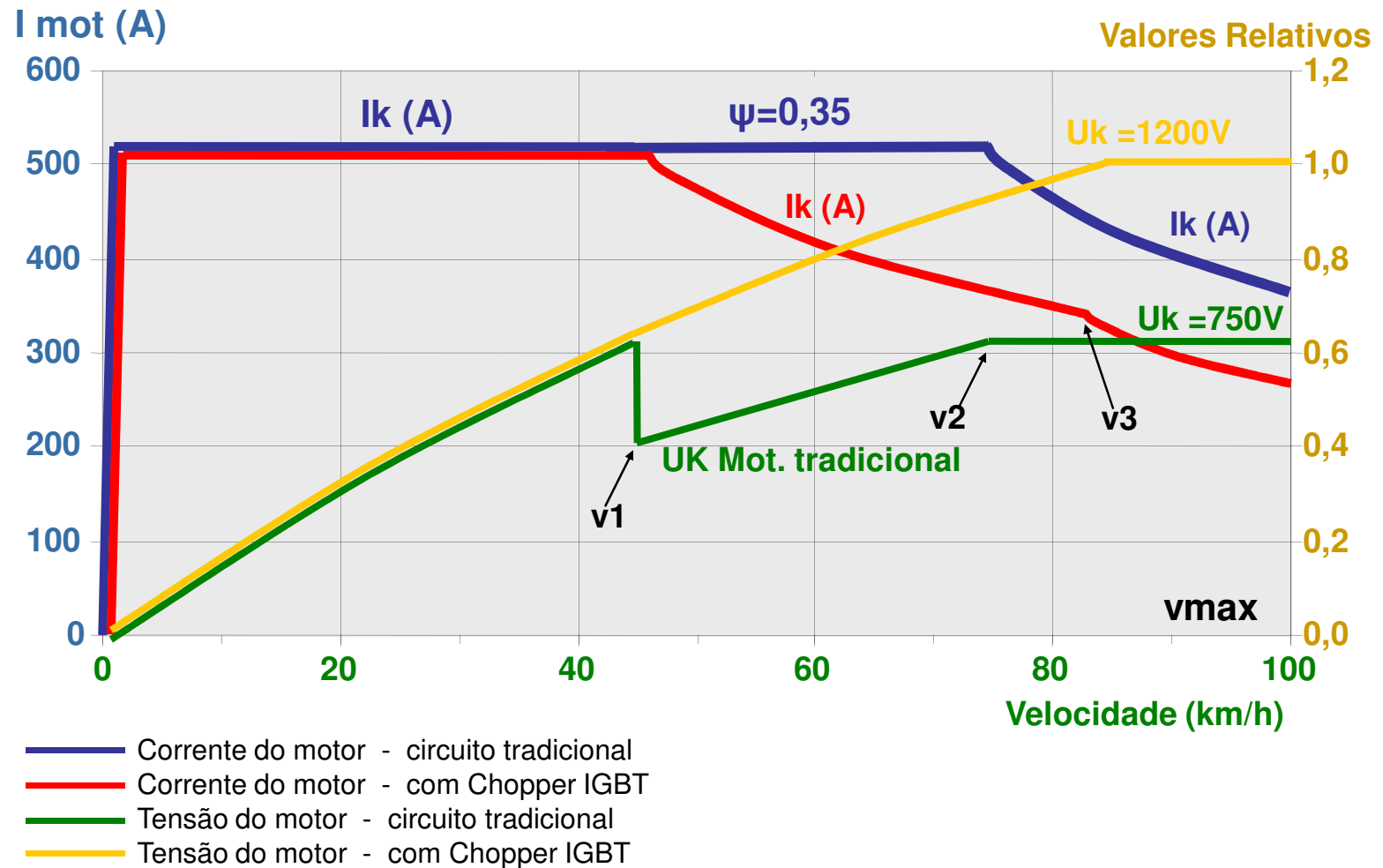
Processos de Marcha em Tração





Processos de Marcha em Tração

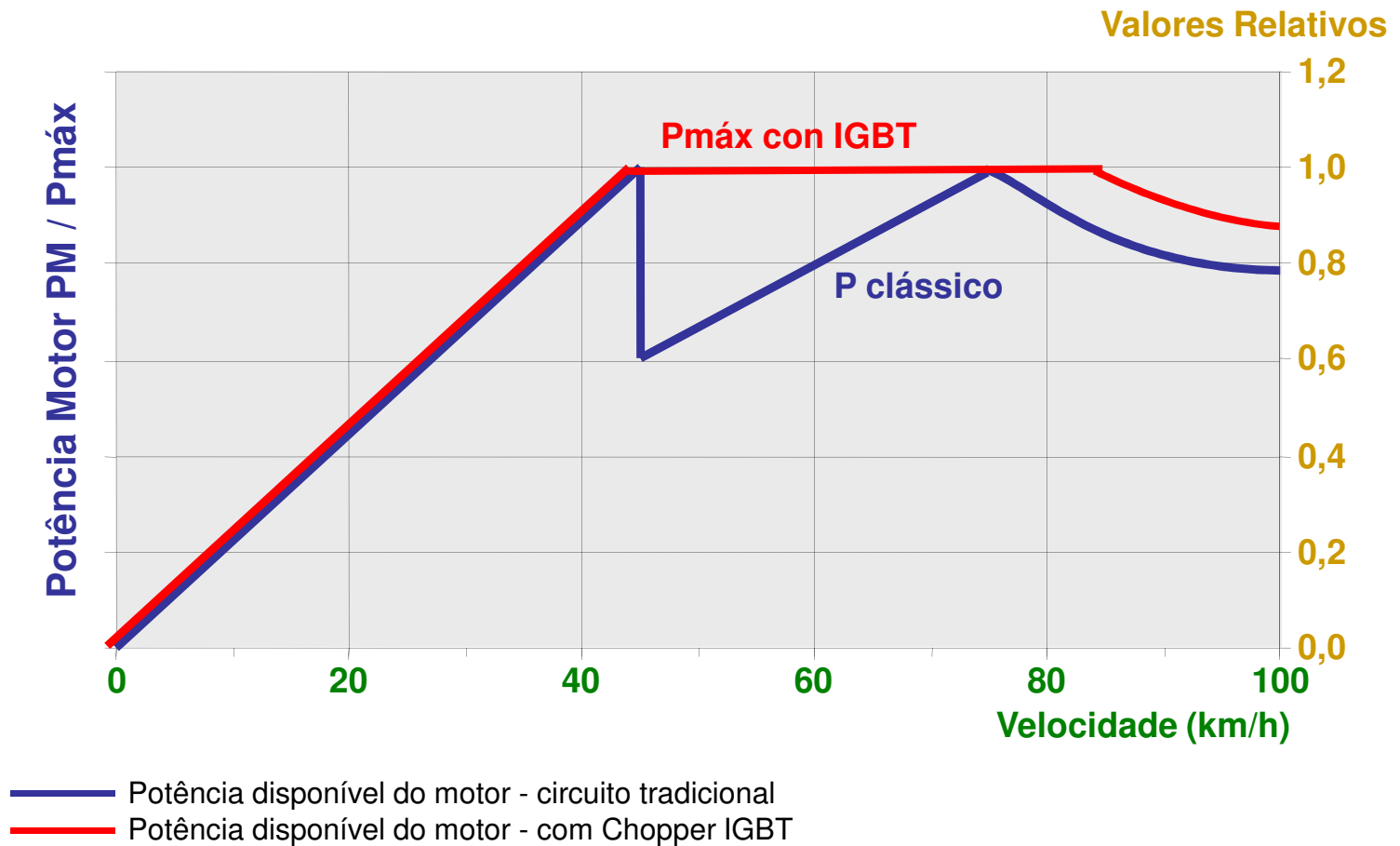
Figura 1: Redução da Corrente do Motor





Processos de Marcha em Tração

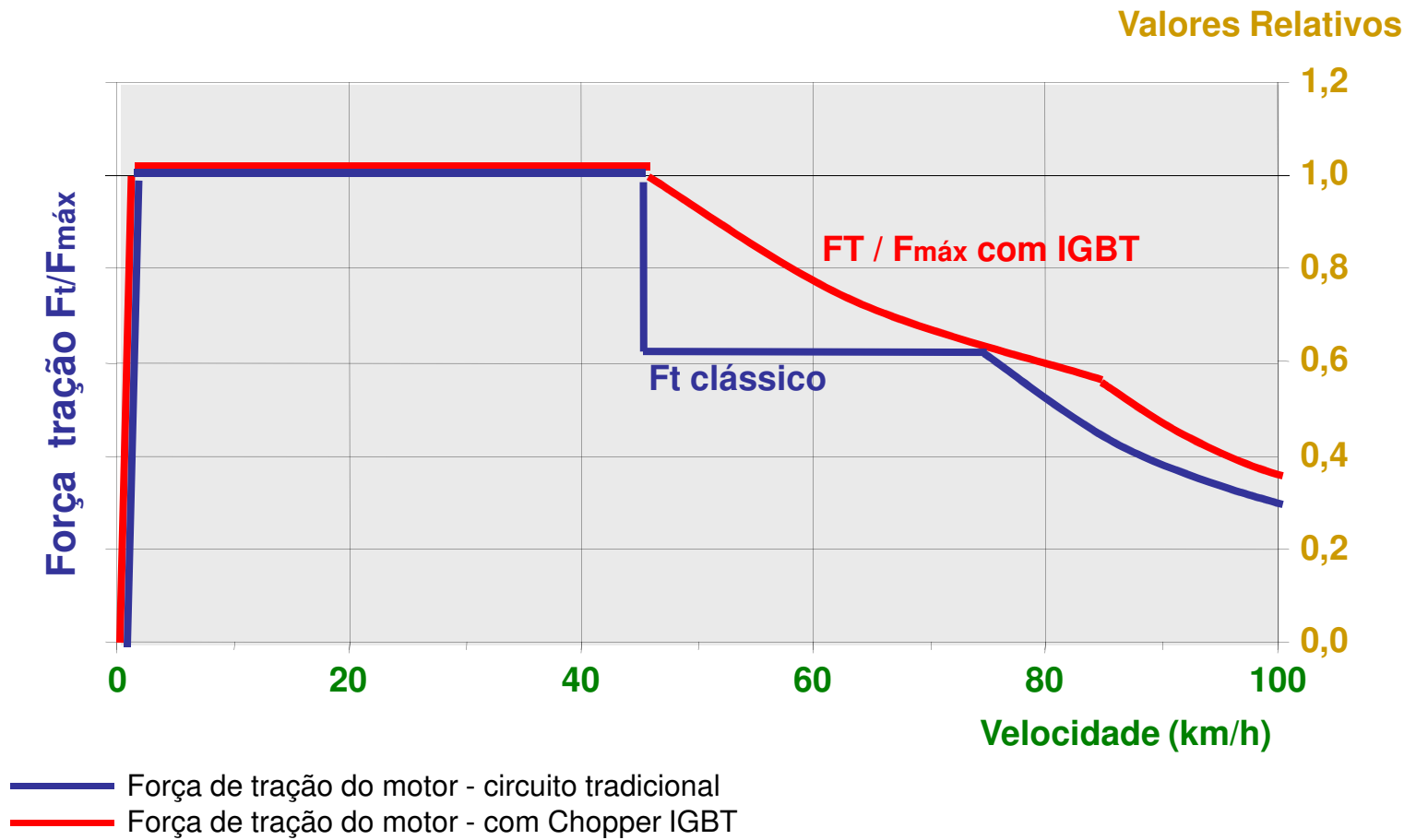
Figura 2: Aumento da Potência disponível do Motor





Processos de Marcha em Tração

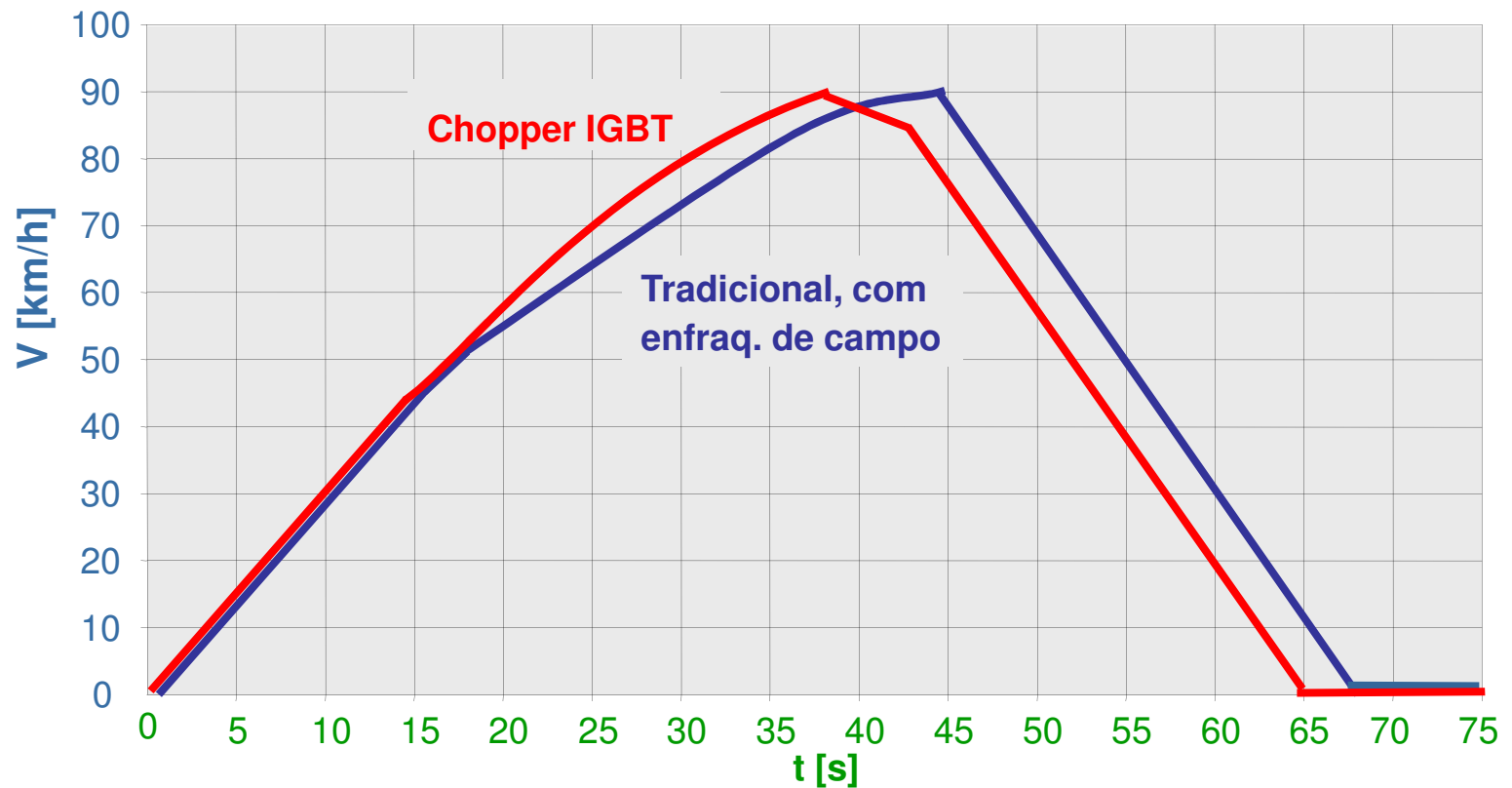
Figura 3: Aumento da Força de Tração F_t





Processos de Marcha em Tração

Figura 4: Característica de Marcha com Limitação de Velocidade

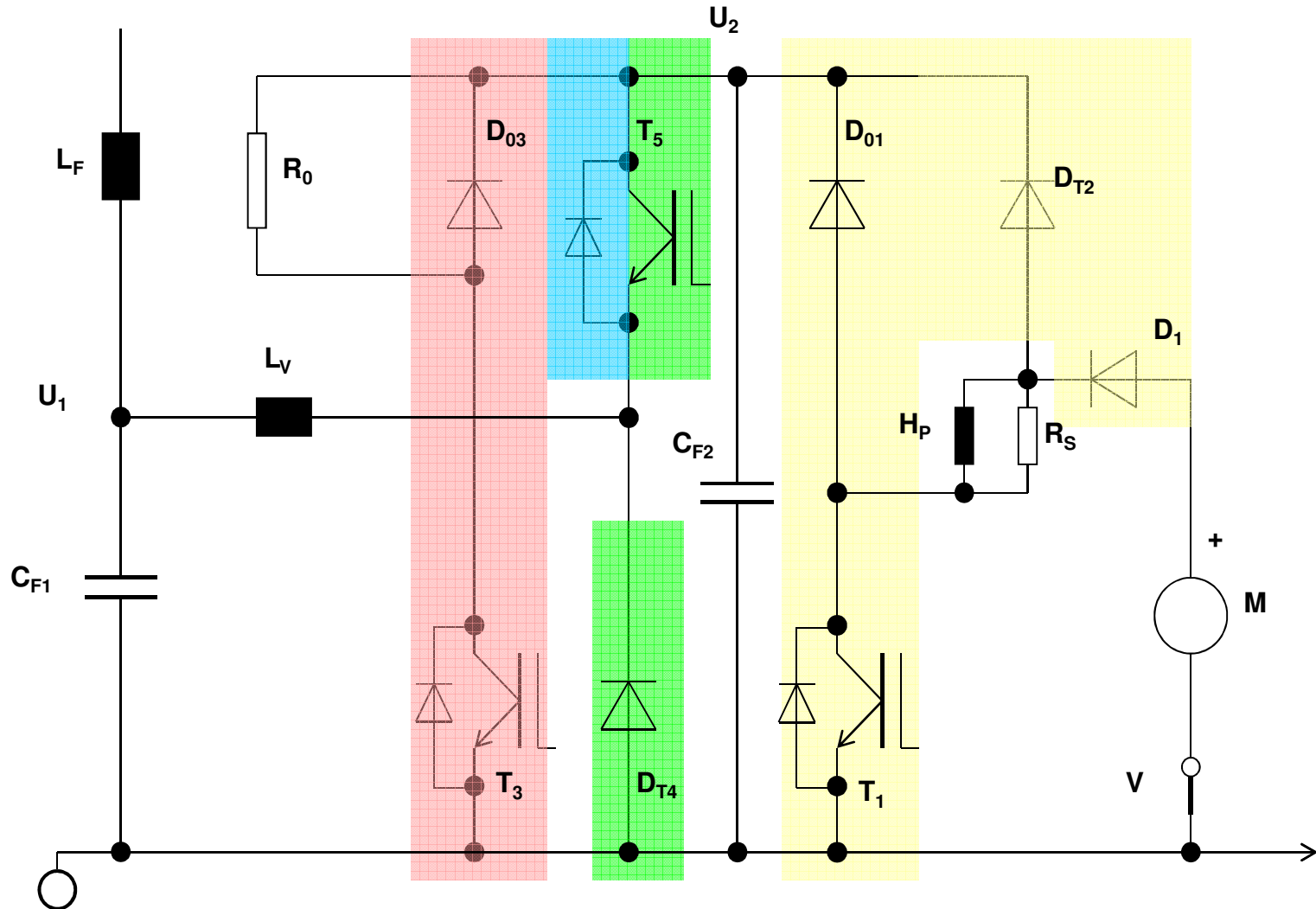


- Curva de marcha - com circuito tradicional
- Curva de marcha - com Chopper IGBT



Freio Eletrodinâmico

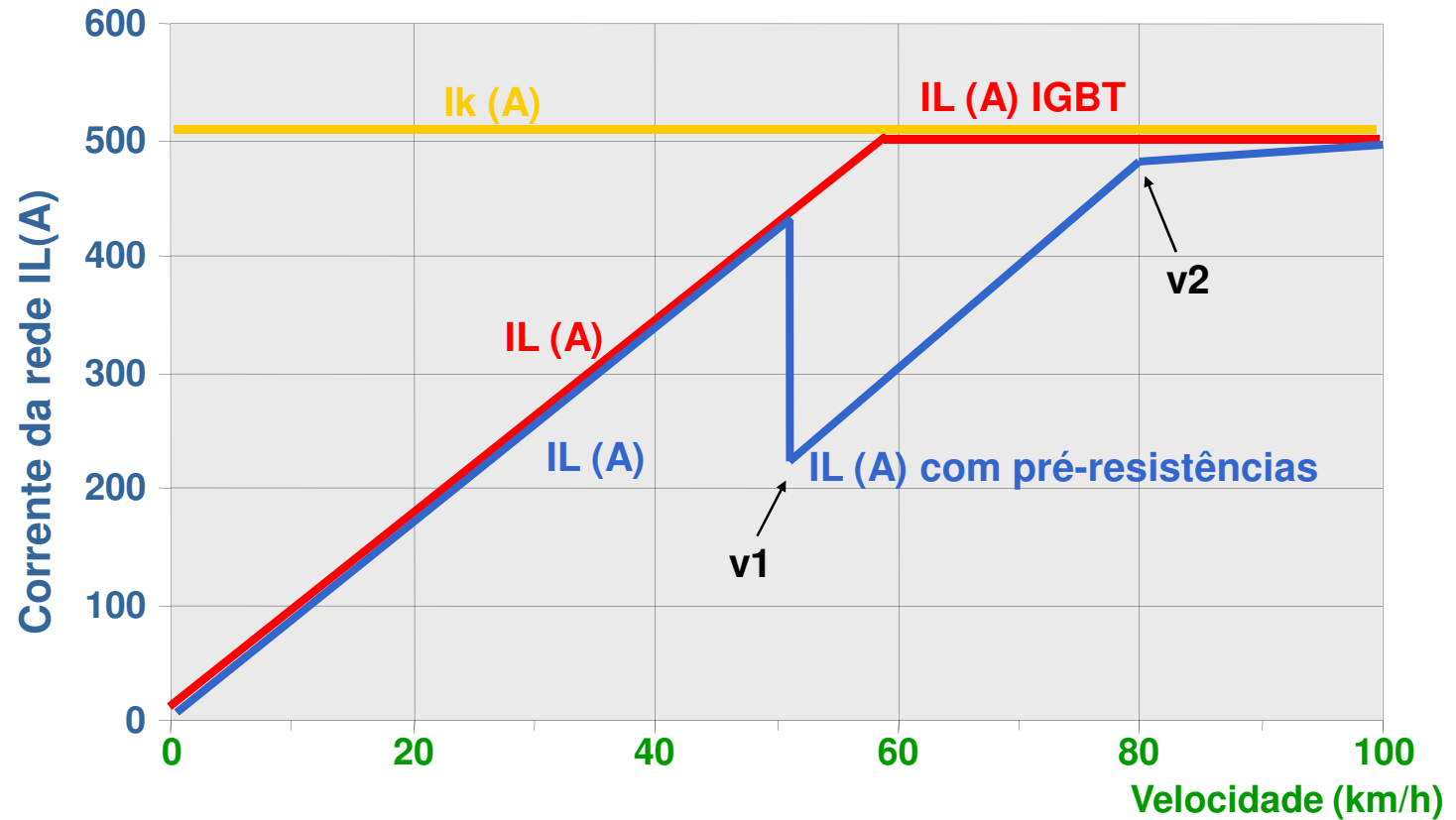
U_L máx (800/900V)





Processos de Frenagem

Figura 5: Aumento da Energia Regenerativa

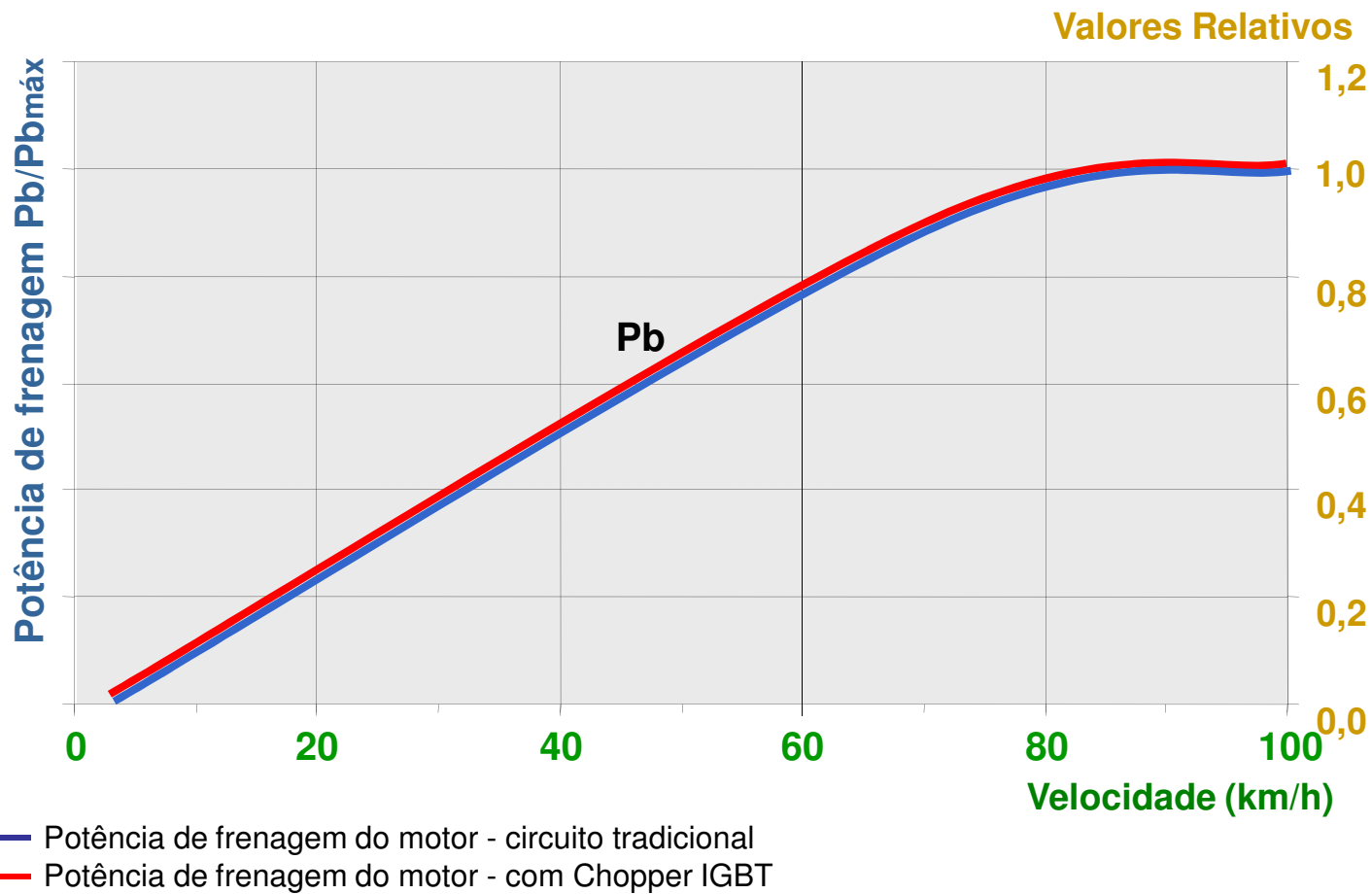


- Curva da recuperação de energia - circuito tradicional
- Curva da recuperação de energia - com Chopper IGBT
- Corrente do motor



Processos de Frenagem

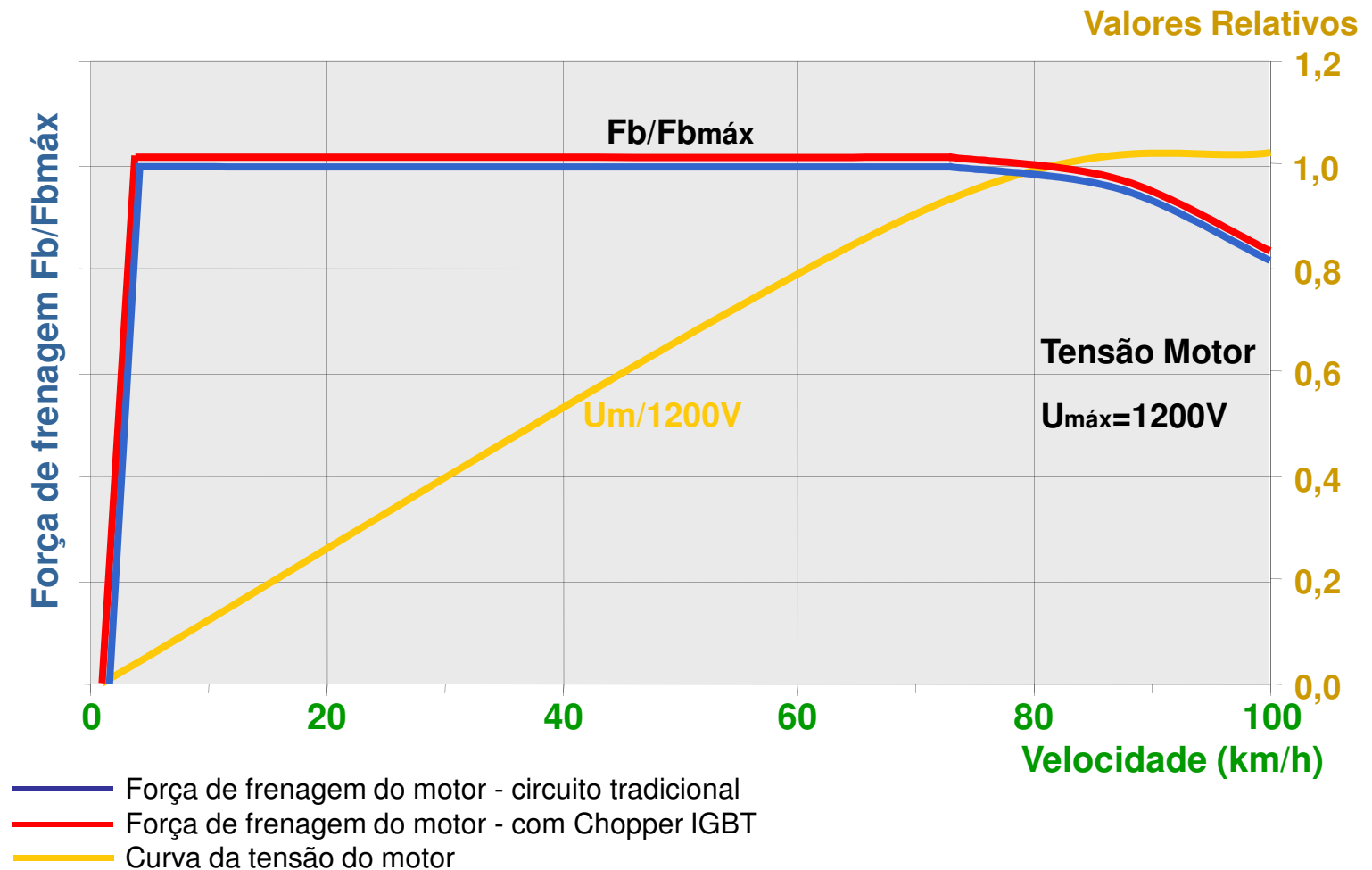
Figura 6: Igualdade das potências de frenagem P_b





Processos de Frenagem

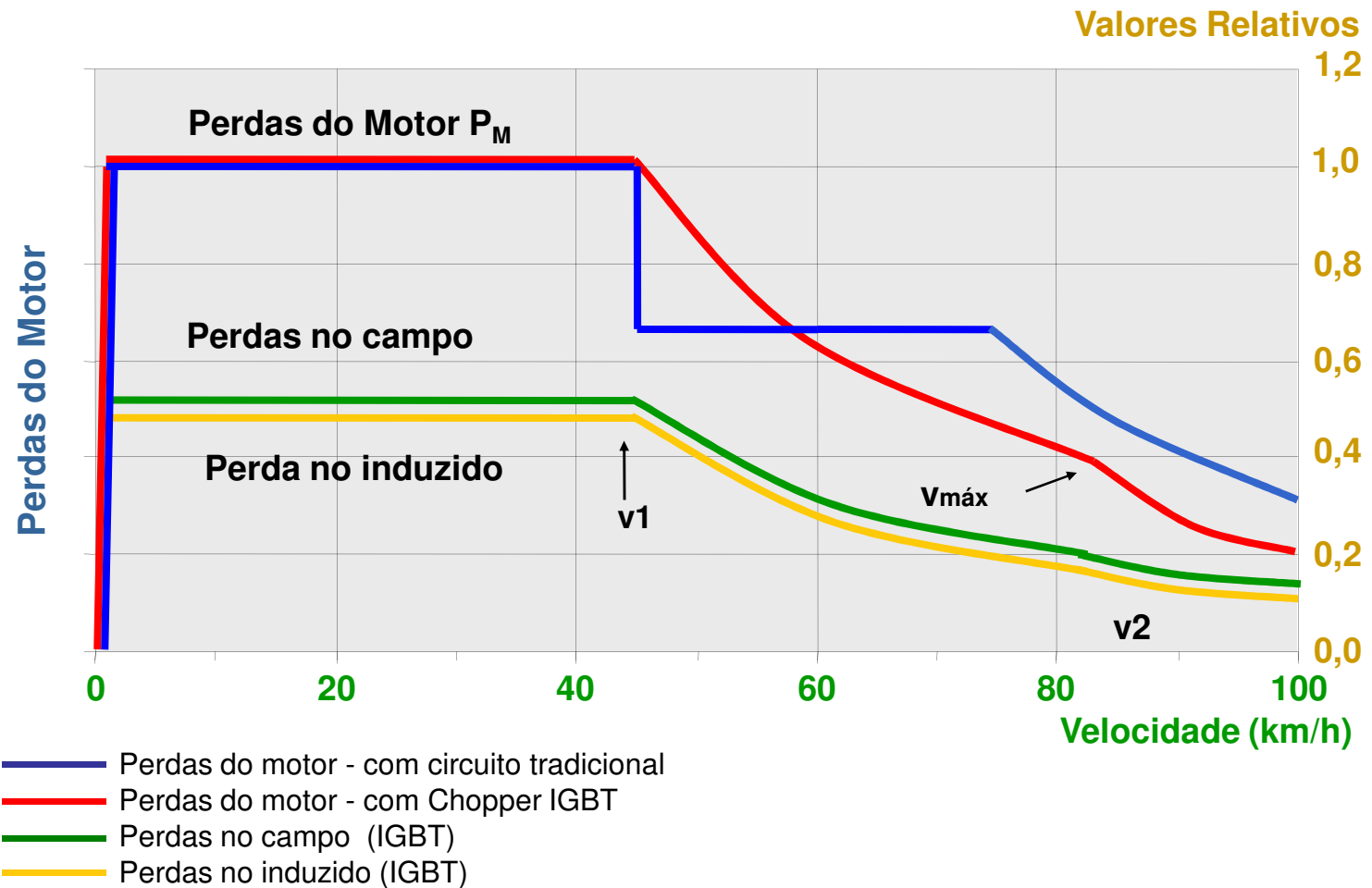
Figura 7: Igualdade das forças de frenagem exigidas F_b





Perdas no motor, com Chopper IGBT

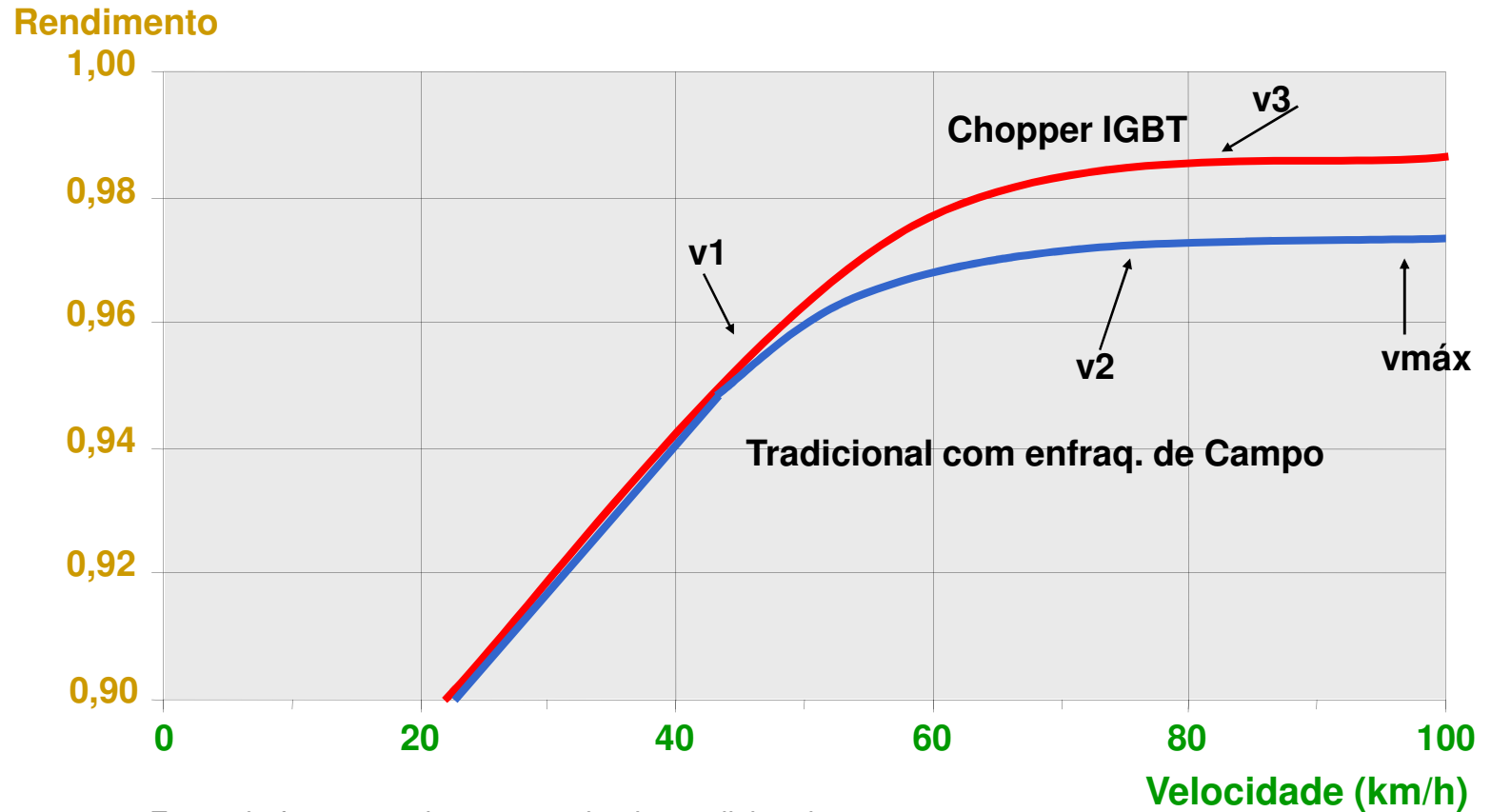
Figura 8: Redução das perdas do Motor P_M





Perdas no Motor, com Chopper IGBT

Figura 9: Aumento do rendimento



- Força de frenagem do motor - circuito tradicional
- Força de frenagem do motor - com Chopper IGBT

Rendimento: $\eta = 1 - P_M / (U_M * I)$

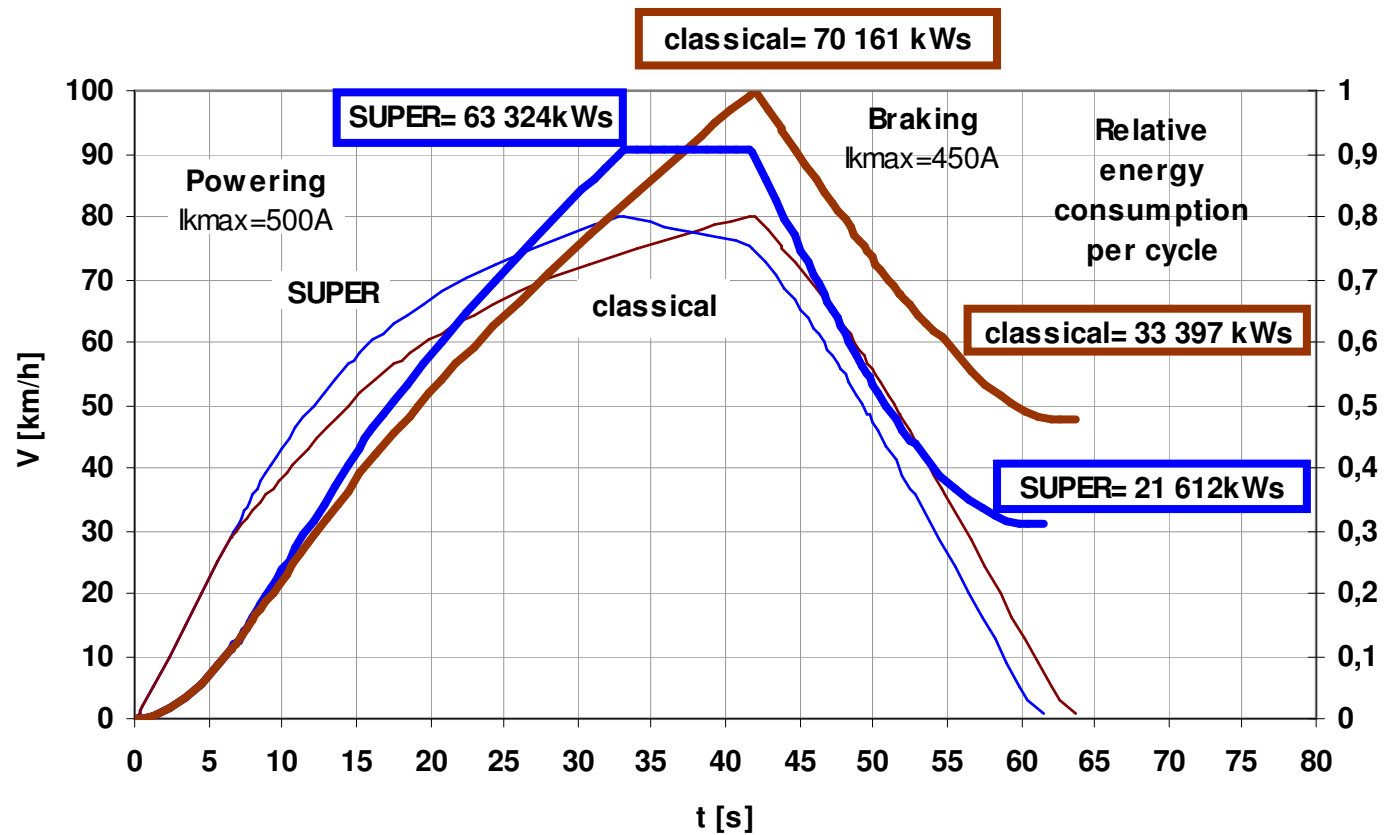


Balanco de Energia, com Chopper IGBT

Speed chart of a vehicle full to capacity (distance min. about 890 m, 0 gradient)

$v_{max} = 80\text{km/h}$

Comparison of power consumption for the whole cycle (with full regeneration)





Vantagens Fundamentais do Novo Circuito

- **Quantidade mínima de elementos de contato (contatores) que operam sem corrente.**
- **Aumento da dinâmica dos veículos na fase de arranque e nos processos de frenagem, ou seja, aumento dos valores de aceleração na tração e de atuação do freio eletrodinâmico, até quase 0 km/h.**
- **Redução considerável das perdas do circuito, devido à operação dos motores com 100% de excitação (eliminação do enfraquecimento dos campos e das pré-resistências de freio, etc...)**
- **Possibilidade de recuperar quase 100% da energia de frenagem, considerando 100% de receptividade da rede.**



Vantagens Fundamentais do Novo Circuito

- Os motores de tração são alimentados com tensão contínua muito retificada, que é mantida até o valor da tensão de frenagem.
- Redução da corrente dos motores a pleno campo.
- Redução das perdas do circuito na fase de tração.
- Aumento do rendimento da máquina.
- Minimização das correntes parasitas nos enrolamentos.



Vantagens Fundamentais do Novo Circuito

- **A operação dos motores com 100% de campo e altos valores de tensão melhora consideravelmente os processos de comutação da máquina, o que se reflete em desgaste mínimo do coletor.**
- **Segurança absoluta contra curto-circuitos, em todos os processos operacionais.**
- **Regulação do circuito de potência nos processos de aceleração e frenagem, de forma progressiva contínua.**
- **Redução considerável das intervenções para manutenção, devido à eliminação de grande quantidade de contadores.**



Nova Solução para Modernização de Acionamentos
em CC e Economia de Energia

SIEMENS

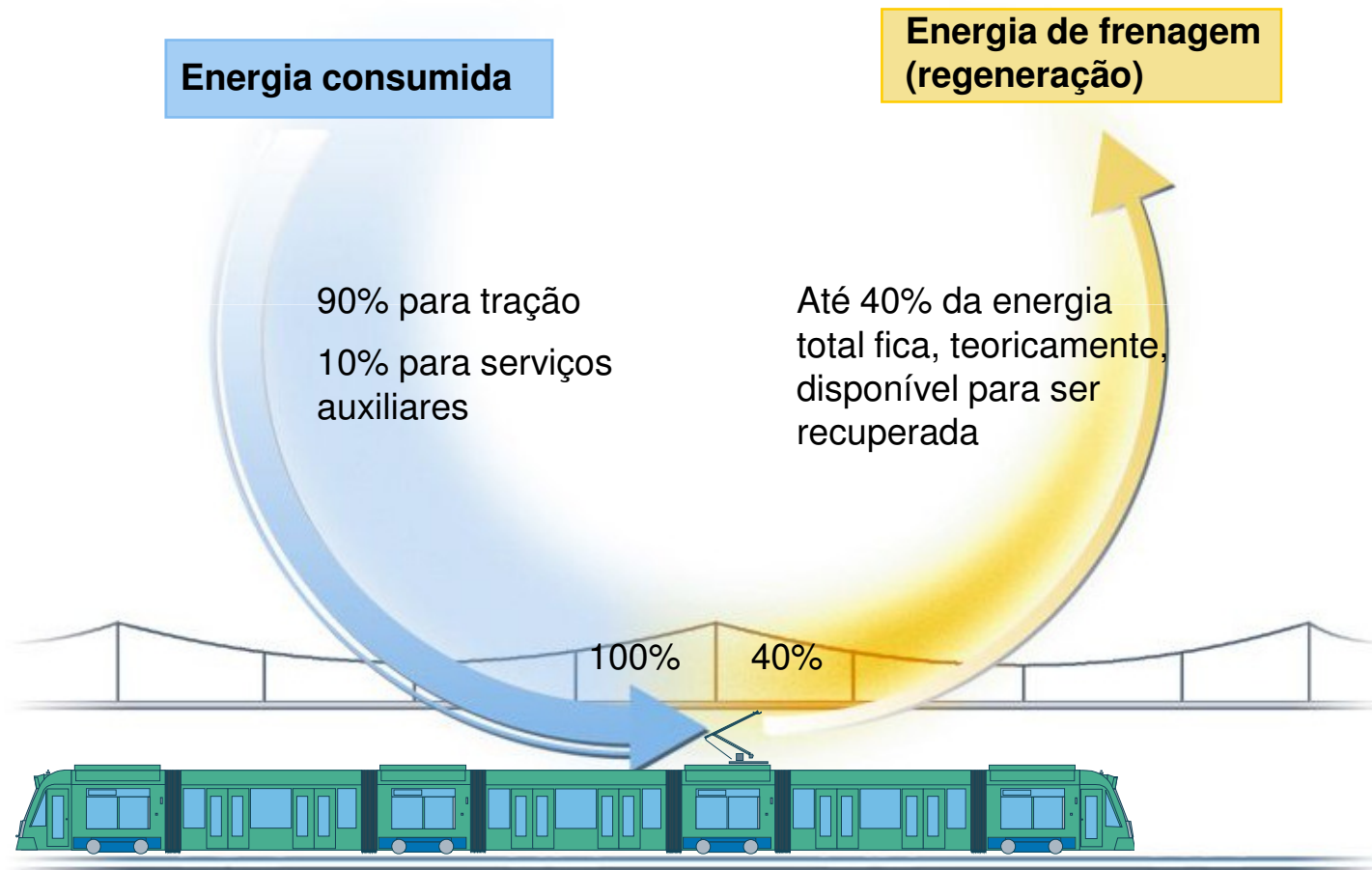
Sistemas de Transporte

SITRAS[®] SES

**SISTEMA ESTÁTICO DE ARMAZENAMENTO DE
ENERGIA PARA SISTEMAS METRO-FERROVIÁRIOS**



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia Motivação





SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Aplicações

Modo de Operação: Economia de Energia

- Absorção da energia excedente devido a frenagem dos veículos
- Armazenamento desta energia
- Esta energia fica disponível para veículos que irão acelerar (iniciar movimento)

▶ **Benefício: Menor consumo de energia da concessionária**

Modo de Operação: Estabilização da Tensão

- Acumulador carregado apresenta tensão elevada
- O acumulador descarrega quando a tensão cai abaixo de um valor pré-determinado
- O acumulador é carregado rapidamente através de um veículo que freia em suas proximidades ou lentamente através do sistema de tração (subestações)

▶ **Benefício: Otimização da estabilização da tensão**

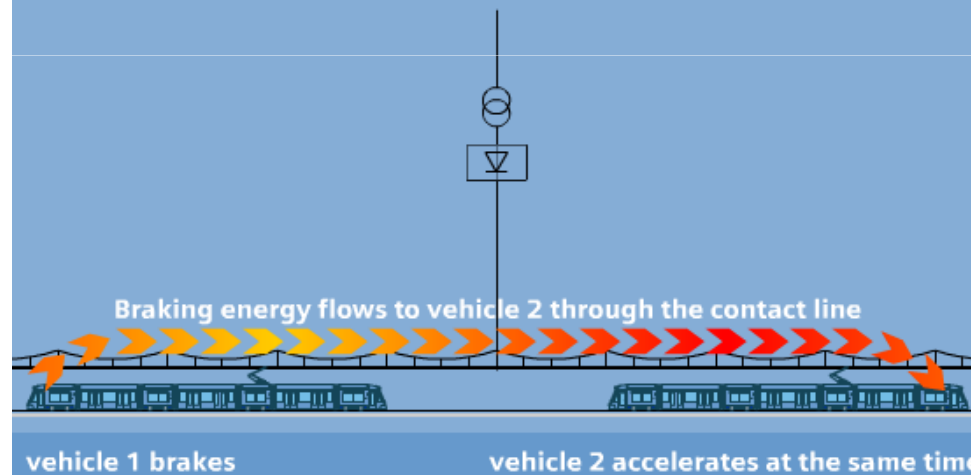


Princípio de Funcionamento SITRAS® SES

Troca de energia entre veículos

Modo de Operação: Economia de Energia

Energy exchange between vehicles



A energia de frenagem pode ser utilizada por outro veículo, somente se os processos de frenagem e aceleração ocorrerem simultaneamente.

Iniciar Animação

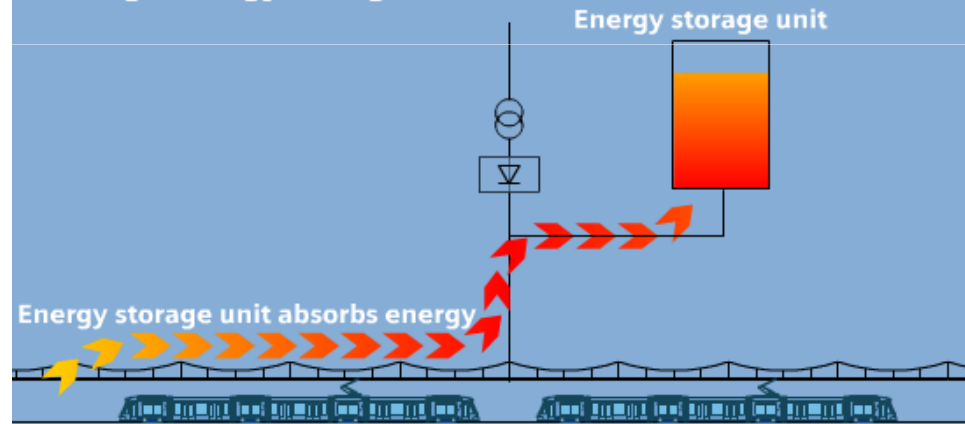


Princípio de Funcionamento SITRAS® SES

Troca de energia entre veículos através do Acumulador

Modo de Operação: Economia de Energia

Energy exchange between vehicles
through energy storage unit



time t_1 :
vehicle 1 brakes

Iniciar Animação

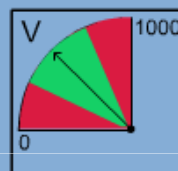
O acumulador
abosorve a energia de
frenagem que fica
disponível para
alimentar o sistema
após algum tempo



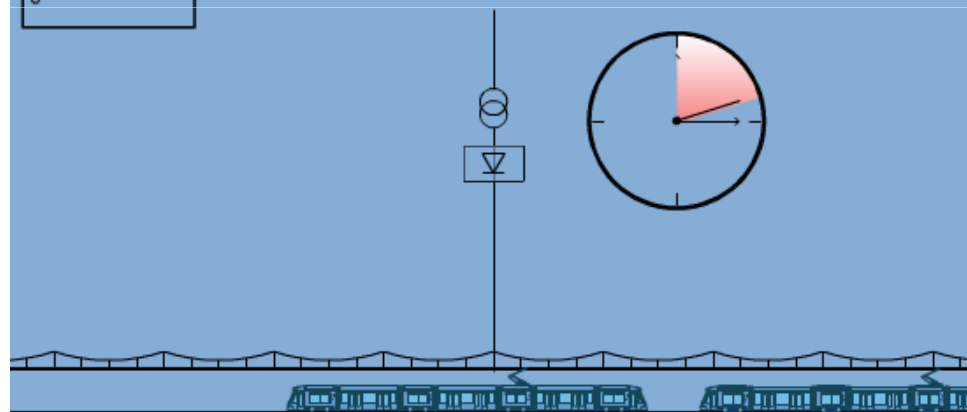
Princípio de Funcionamento SITRAS® SES

Flutuações de Tensão

Modo de Operação: Estabilização da Tensão



After a certain period the operation can start again.



time t_2 :
both vehicles accelerate at the same time

Iniciar Animação

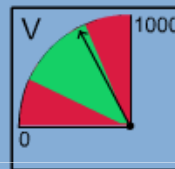
Se vários veículos acelerarem ao mesmo tempo, a tensão do sistema cai, podendo ocorrer desligamentos por subtensão.



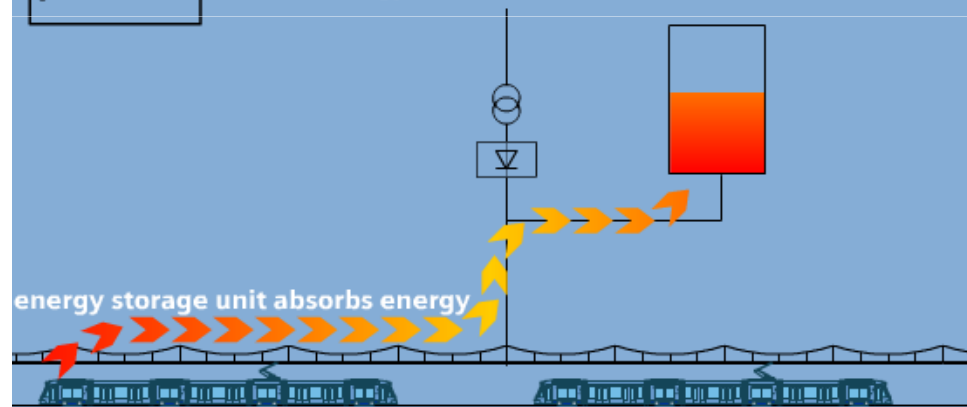
Princípio de Funcionamento SITRAS® SES

Optimizing the system voltage

Modo de Operação: Estabilização da Tensão



System voltage rises during braking and energy storage unit absorbs energy.



O acumulador de energia é descarregado caso a tensão caia abaixo de um valor pré-determinado

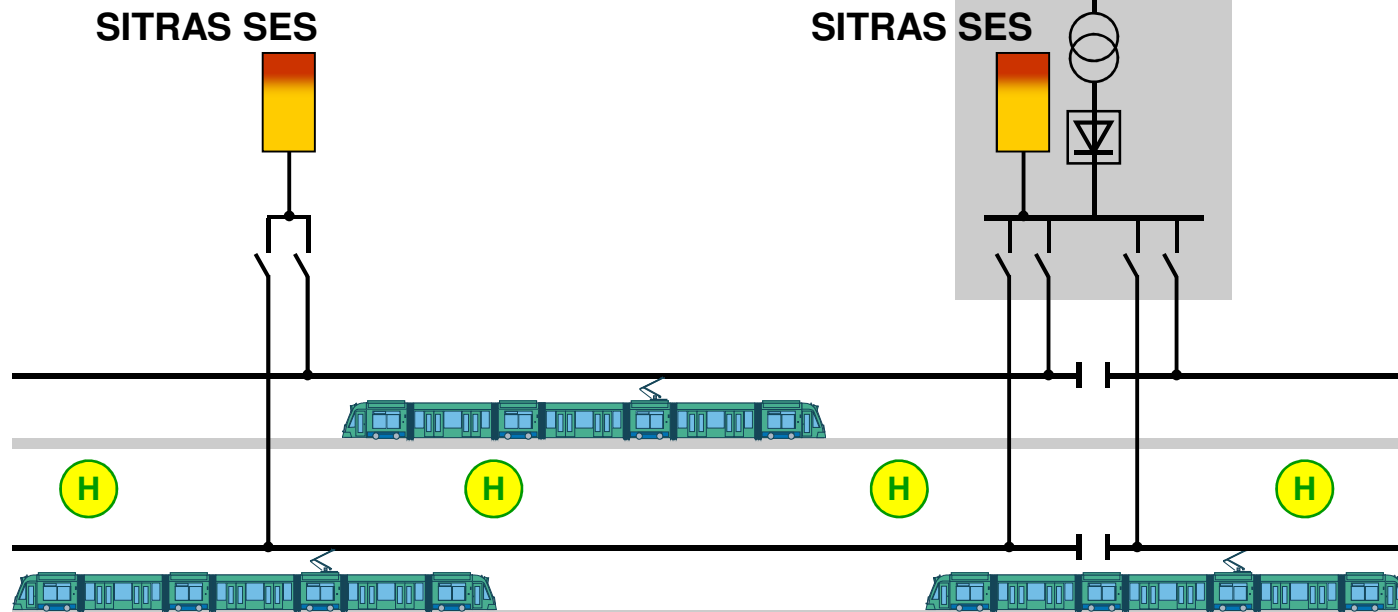
Iniciar Animação



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Possibilidades de conexão

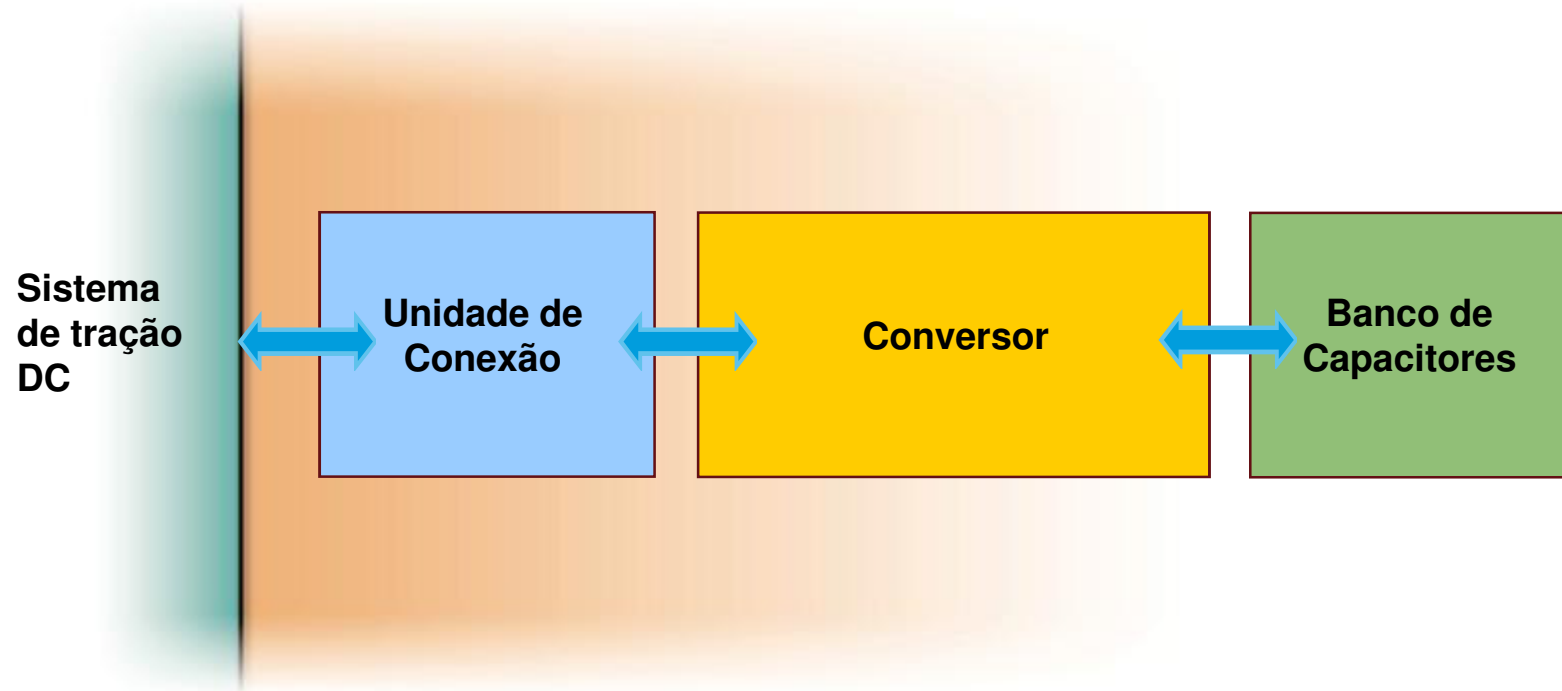
SITRAS SES na linha





SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

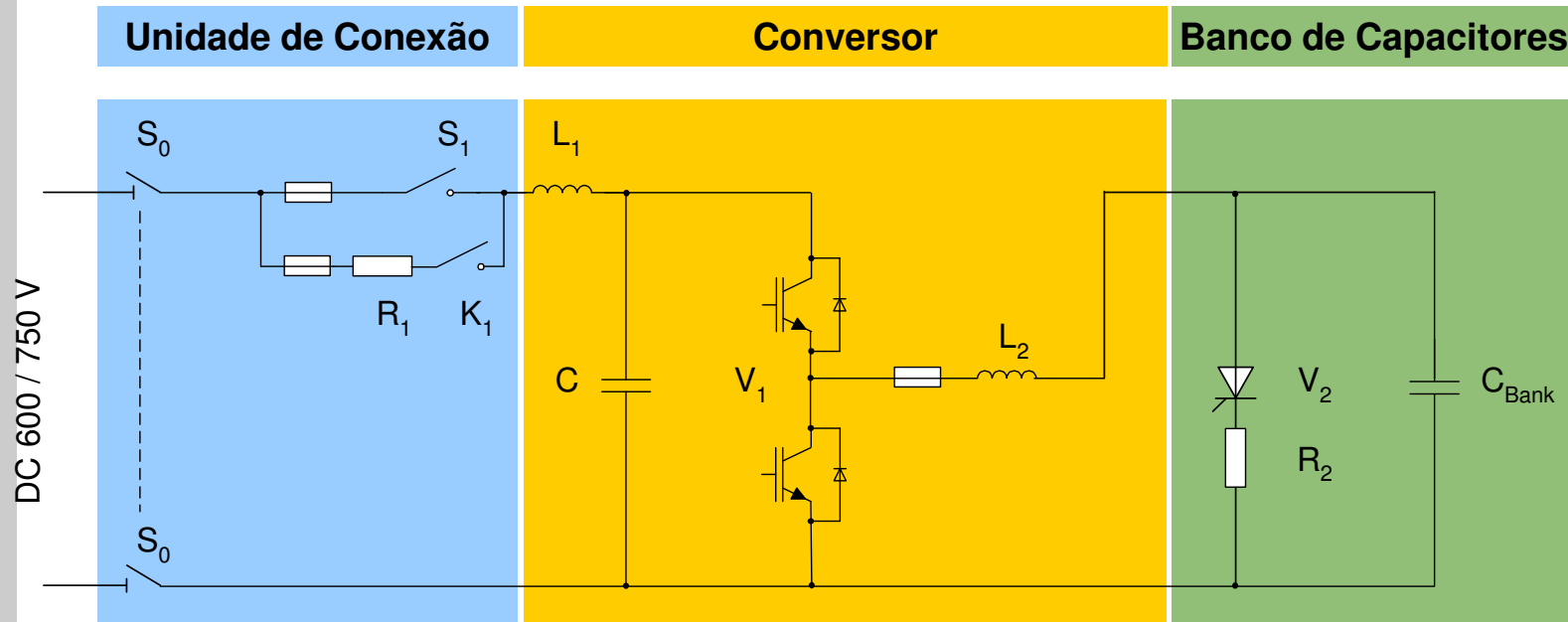
Diagrama de Blocos





SITRAS[®] SES Sistema de armazenamento de energia

Diagrama de Conexões

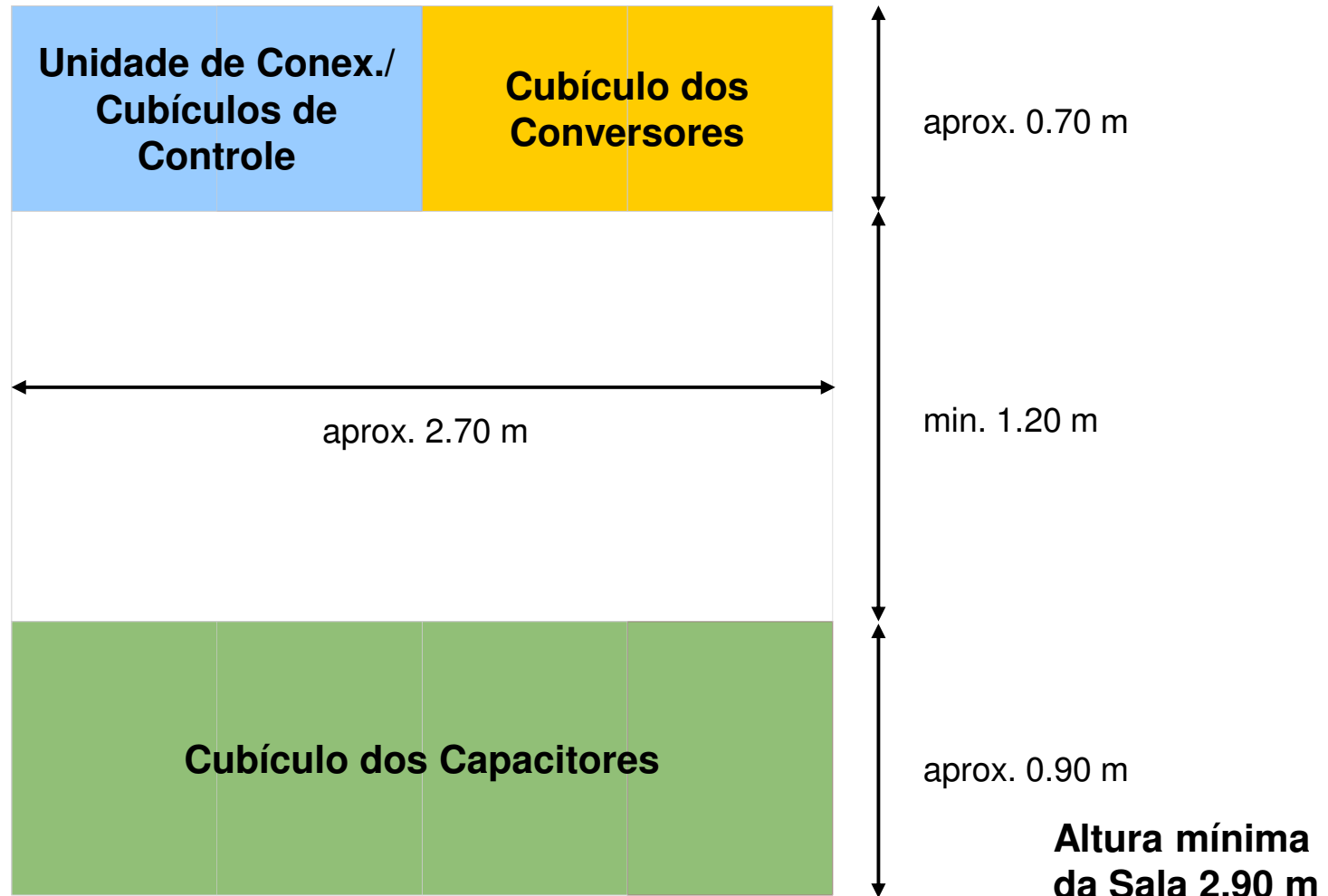


S_0	Chave Secc.	L_1	Reator de Linha (Filtro)	V_2, R_2	Unidade de descarga
S_1	Disjuntor DC	C	Capacitor de Linha (Filtro)	C_{Bank}	Banco de Capacitores
R_1	Resistência de pré carga	V_1	Conversor		
K_1	Contator de pré carga	L_2	Reator do conversor		



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Arranjo





SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Banco de Capacitores: Supervisão de defeitos („Watchdog“)

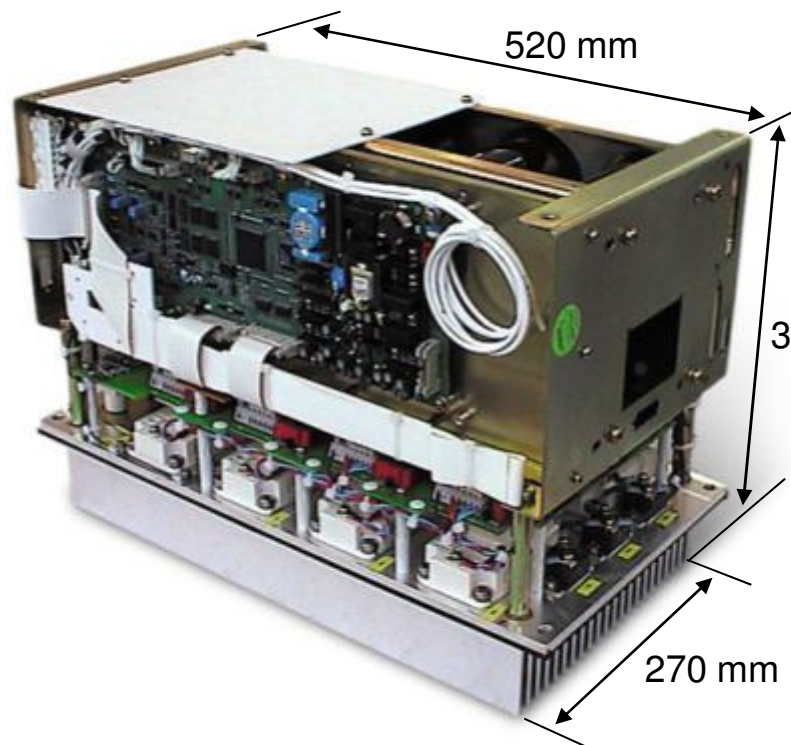


- ▶ Supervisão dos capacitores conectados em paralelo
- ▶ Balanço da tensão dos capacitores



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Conversor: IGBT's



- ▶ **Conversor Padrão utilizado, também, em veículos como o "Desiro®"**
- ▶ **Tecnologia Moderna**
- Capacidade para curto-circuitos
- Alta resposta dinâmica
- ▶ **Projeto Modular e Compacto**
- ▶ **Ventilação natural**



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Variantes

Montagem em cubículos para
integração em Subestações



Dimensões: 0.9x2.7x2.5 m
(PxLxA)

Montagem em Container



Dimensões: 2.9x3.2x3.2 m
(PxLxA)



Nova Solução para Modernização de Acionamentos em CC e Economia de Energia

SIEMENS

Sistemas de Transporte

SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Operação em Colônia (Alemanha) desde 2001





SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

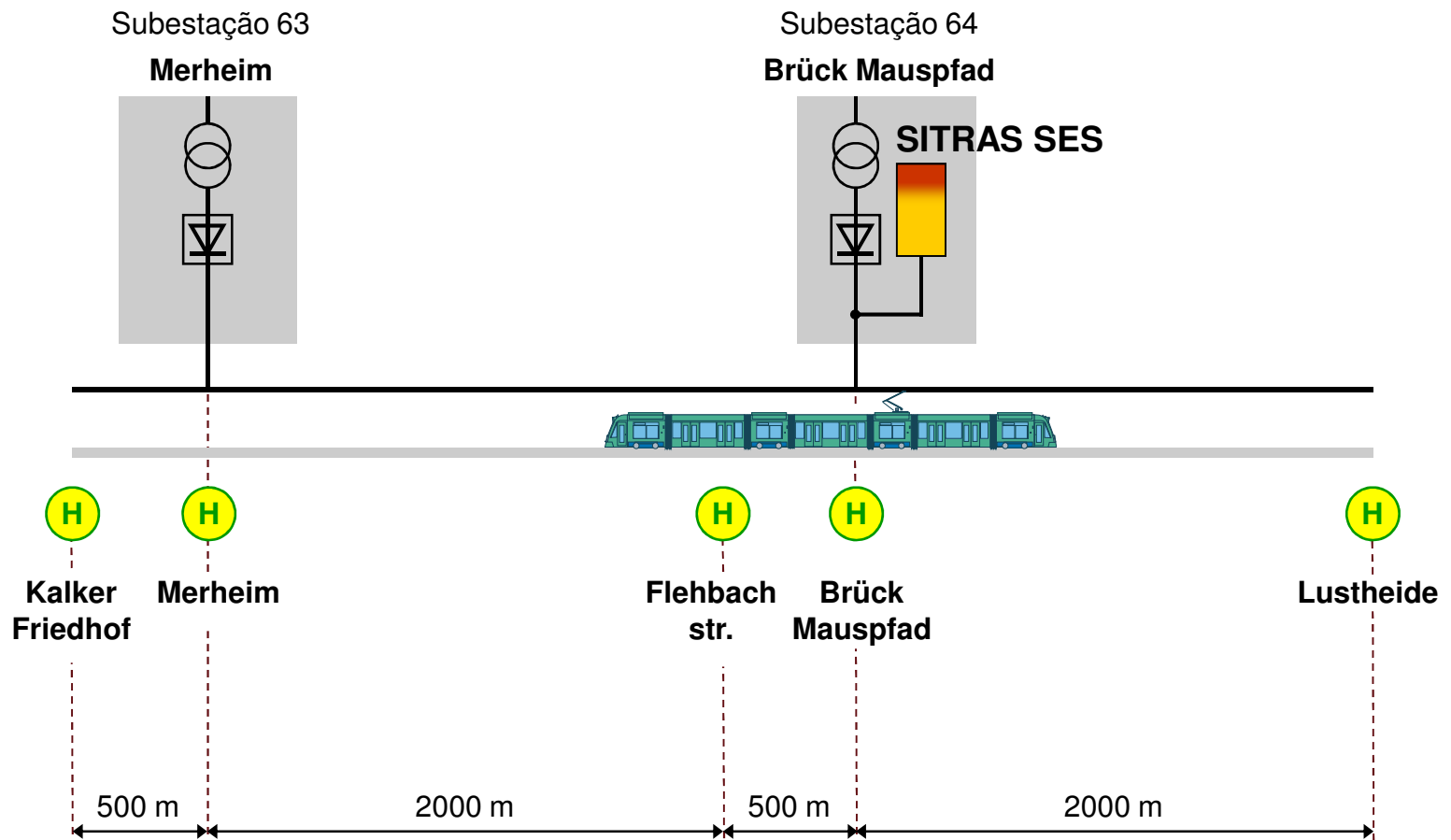
Operação em Colônia desde 2001

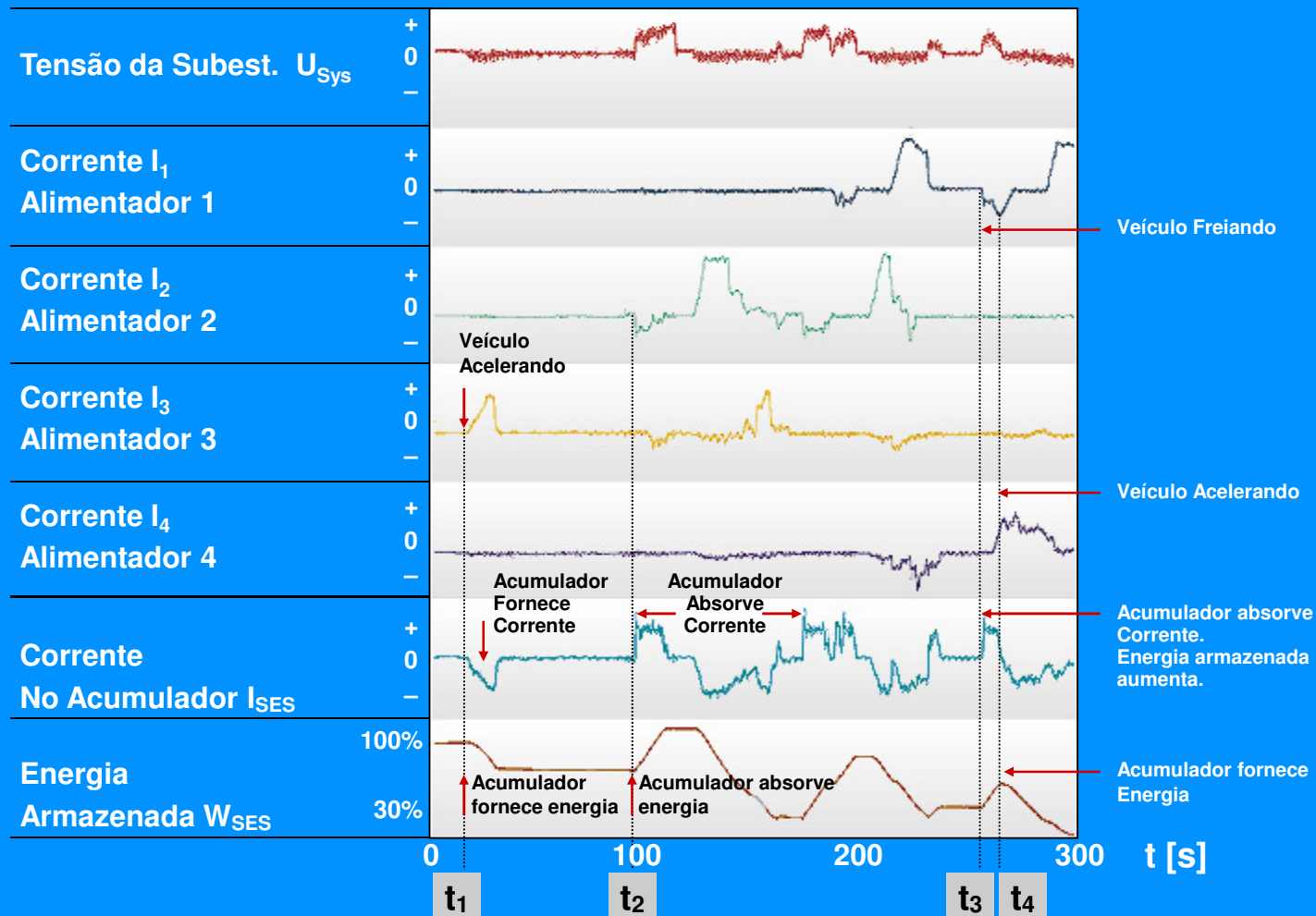




SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Operação em Colônia desde 2001





- t_1 Um veículo no alimentador 3 acelera, I_3 é positiva – Acumulador fornece energia para o sistema, W_{SES} é reduzida, corrente no acumulador I_{SES} é negativa.
- t_2 Um veículo no alimentador 2 freia, I_2 é negativa – W_{SES} aumenta, corrente no acumulador I_{SES} é positiva..
- t_3 Um veículo no alimentador 3 freia, I_1 é negativa – corrente no acumulador I_{SES} é positiva.
- t_4 Durante o processo de frenagem no alimentador 1, outro veículo acelera no alimentador 4. O acumulador imediatamente muda o modo de operação para descarga, apoiando o processo de aceleração – W_{SES} diminui, corrente no acumulador é negativa.



Nova Solução para Modernização de Acionamentos em CC e Economia de Energia

SIEMENS

Sistemas de Transporte

SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Operação em Madrid desde 2002





SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

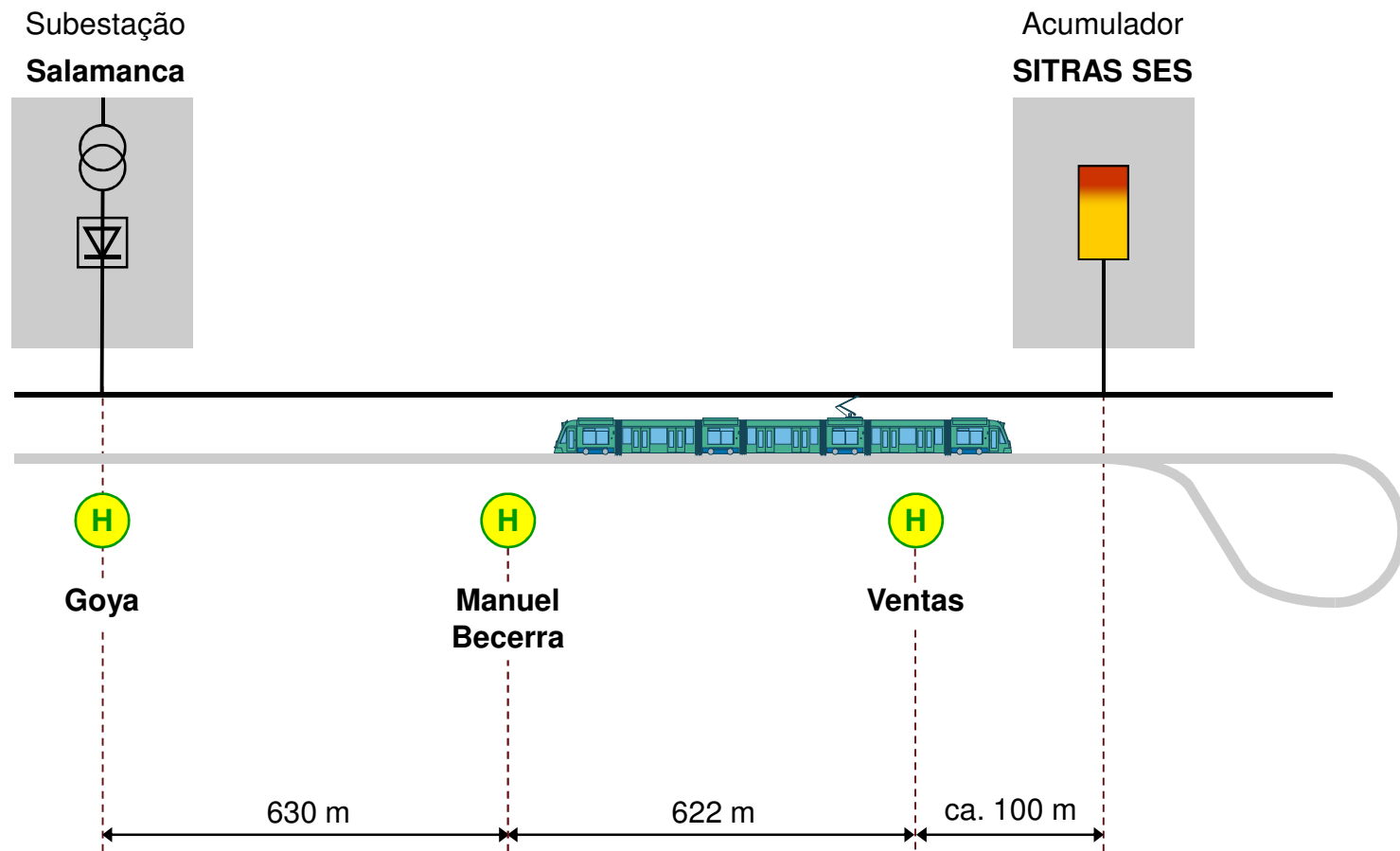
Operação em Madrid desde 2002

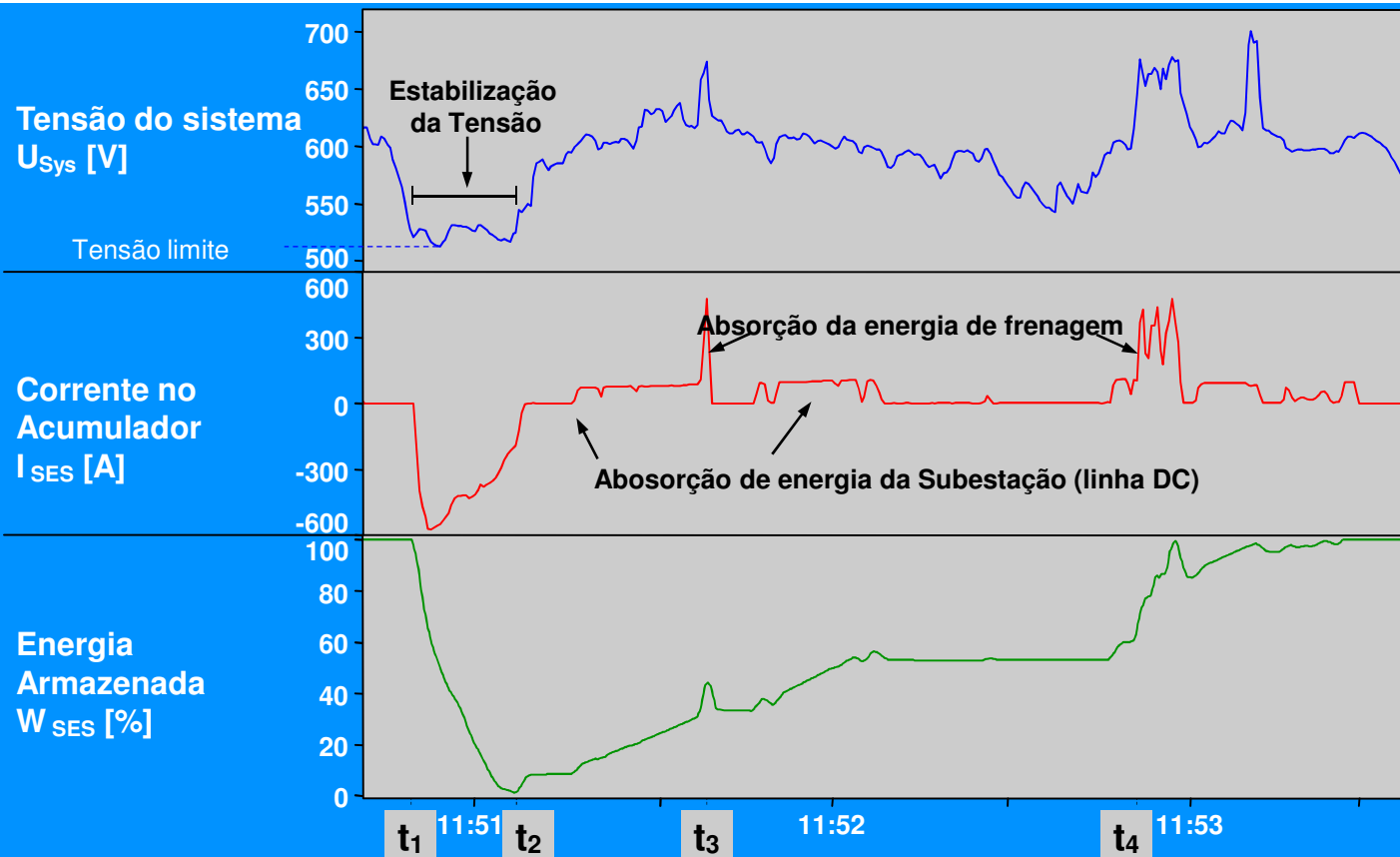




SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Operação em Madrid desde 2002



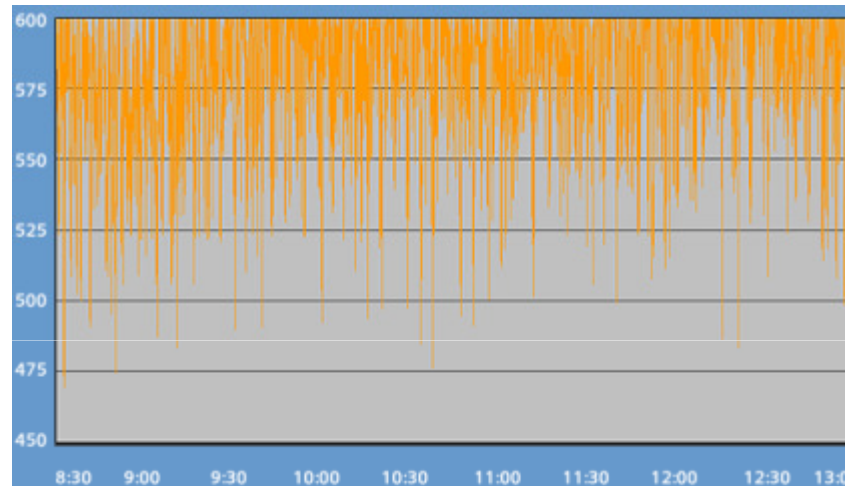


- t_1 Devido a muitos veículos acelerando ao mesmo tempo, a tensão dos sistema (U_{Sys}) cai para níveis críticos (cerca de 520 V). Quando a tensão cai abaixo do limite pré-ajustado (520 V), o acumulador entra em operação dando “suporte” a tensão (t_2-t_1). Neste processo, o acumulador é descarregado - Corrente I_{SES} é negativa e a energia armazenada (W_{SES}) diminui.
- t_2 Quando os períodos de aceleração simultânea pararem, a tensão do sistema (U_{Sys}) começa a aumentar. O acumulador é carregado lentamente (I_{SES}) através da subestação; A energia armazenada aumenta gradativamente (W_{SES}).
- t_3 Um veículo freia, a tensão do sistema (U_{Sys}) sobe temporariamente. O acumulador é carregado através de uma alta corrente (I_{SES}). Após absorção da energia de frenagem, o acumulador é novamente carregado com baixa corrente (I_{SES}) através da subestação.
- t_4 Uma vez mais, um veículo inicia processo de frenagem. O acumulador é carregado através de uma alta corrente (I_{SES}).



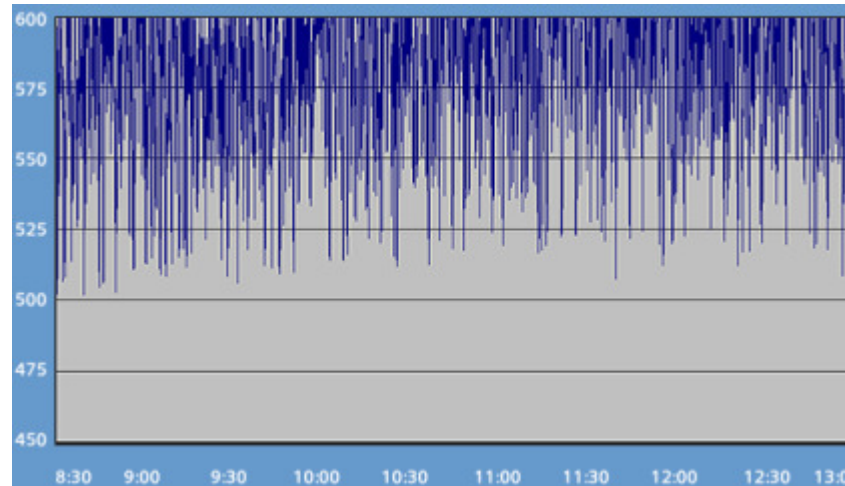
SITRAS® SES: Resultados práticos

Medições no Metrô de Madrid em 2002 (Ventas)



SITRAS SES
fora de operação

- ⇒ A tensão do sistema cai para 470 V
- ⇒ Ocorrência de desligamentos por subtensão



SITRAS SES
em operação

- ⇒ A tensão do sistema cai para 490 V (mínimo)
- ⇒ Não há desligamentos por subtensão.



SITRAS® SES Sistema de armazenamento de energia

Dados Técnicos

Tensão de entrada (tolerância de acord. com EN 50163)	DC 600 / 750 V
Número de Capacitores	aprox. 1300
Capacitância Total	64 F
Conteúdo Energético	2.3 kWh
Máxima economia de energia por hora	65 kWh/h
Pico (capacidade de absorção / alimentação)	1 MW
Eficiência do banco de capacitores	0.95
Alimentação auxiliar	3 AC 400 V opcional DC 750 V
Temperatura ambiente	-20...+40 °C
Máxima altitude (sem alteração das características)	1000 m
Dimensão do Container (Largura x Profundidade x Altura)	3.2 x 2.9 x 3.2 m
Peso do container	aprox. 5.5 t



Vantagens da utilização do acumulador de energia

- Aspectos econômicos
 - Absorve a energia de frenagem dos trens, armazena e fornece para os trens que estão partindo
 - Redução dos picos de potência solicitados à concessionária
 - Redução dos custos de investimentos - expansões

- Com relação ao sistema
 - Menor solicitação das subestações
 - Compensação à oscilações de tensão
 - Suporte da tensão nos finais de linha

- Aspectos de segurança
 - Auxílio no resgate de trens em caso operação em contingência grave



Avaliação da possibilidade de instalação

www.siemens.com.br/transporte/quest.sitras.ses

■ Características dos trens

- Peso, comprimento
- Máx. aceleração e desaceleração
- Correntes de tração e regeneração (curva Ixv)
- Esforços de tração e frenagem (curva)

■ Características do traçado

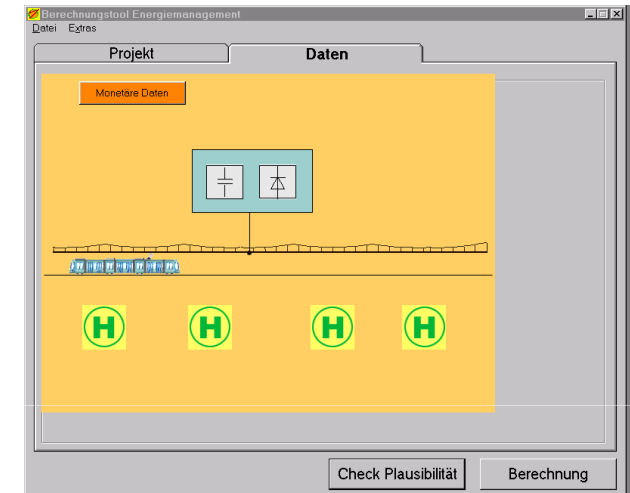
- Curvas, rampas
- Velocidades máximas por trecho
- Distância entre estações de parada

■ Características do sistema de suprimento de energia

- Potência, quantidade e posição das subestações
- Dados elétricos das subestações (resistências, impedâncias, tensão em vazio ...)

■ Características do sistema

- Headway
- Resistência do terceiro trilho (rede aérea) e trilhos de rolamento





Fornecimentos / Encomendas

Versão em Container



Versão em Subestação



Fornecimentos / Encomendas

- ▶ Container em Colônia desde Março 2001, 2003
- Container em Madrid desde Abril 2002
- Subestação em Bochum em Maio 2003
- Container em Dresden em Junho 2002
- Container em Portland em Julho 2002
- Subestação em Munich em Setembro 2002
- Container em Karlsruhe em Dezembro 2002

Em conversação

- ▶ Lausanne
- London, Manchester
- Barcelona, Madrid
- Berlin, Düsseldorf, Essen, Stuttgart
- Turin, Verona
- Amsterdam
- New York



Nova Solução para Modernização de Acionamentos
em CC e Economia de Energia

SIEMENS

Sistemas de Transporte

Agradecemos a atenção

Marco Missawa / Renato Peres Vio

**Siemens
Sistemas de Transporte**

**Av. Mutinga, 3800
05110-901 - Sao Paulo – SP**

**Email: missawa@siemens.com
renato.vio@siemens.com**

Internet: www.siemens.com.br/transporte