

# Guia de Aplicação de Qualidade de Energia



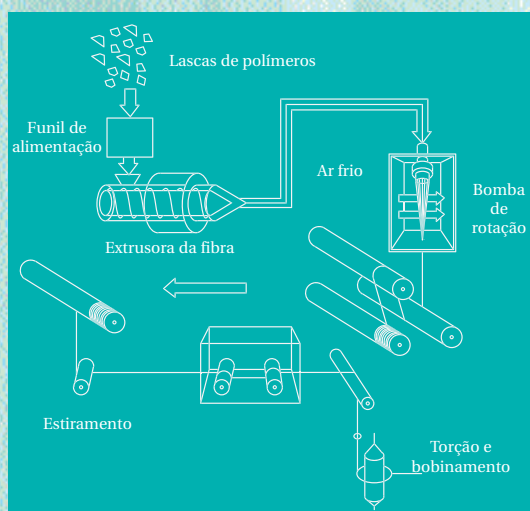
## *Distúrbios de Tensão*

### *Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos – Estudo de Caso*

5.5.1



Siemens Press Photo



*Distúrbios de Tensão*

# *Distúrbios de tensão*

## *Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos* *Estudo de Caso*

Dipl-Ing Marcel Didden  
Katholieke Universiteit Leuven  
June 2003



Este Guia foi produzido como parte do Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), um programa de educação e treinamento europeu apoiado pela Comissão Europeia (sob o Programa Leonardo da Vinci) e pelo International Copper Association (ICA). Para informação adicional sobre o LPQI visite [www.lpqi.org](http://www.lpqi.org).



### **European Copper Institute (ECI)**

O European Copper Institute (ECI) (Instituto de Cobre Europeu) é uma joint venture entre o ICA (International Copper Association) e os fabricantes europeus. O ECI representa os maiores produtores de cobre do mundo e os fabricantes europeus mais importantes para promover o cobre na Europa. Criado em janeiro de 1996, o ECI é apoiado por uma rede de onze Associações de Desenvolvimento do Cobre ('CDAs') em Benelux, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Polónia, Rússia, Escandinávia, Espanha e Reino Unido.



### **Instituto Brasileiro do Cobre - PROCOBRE**

É uma instituição sem fins lucrativos, constituída por empresas produtoras e transformadoras de cobre no Brasil com a missão de estimular o uso técnico e econômico do metal, promovendo sua utilização correta e eficiente. Desenvolve projetos nas várias áreas de aplicação do metal, divulgando as vantagens da utilização do cobre na energia elétrica, nas instalações hidráulicas e de gás, na arquitetura, no design e decoração de interiores, na saúde e muitas outras.

### **Aviso de Isenção de Responsabilidades**

O conteúdo deste documento não necessariamente reflete a posição da Comunidade Europeia, nem implica nenhuma responsabilidade por parte da Comunidade Europeia. O European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko e Copper Development Association negam qualquer responsabilidade por qualquer dano direto, indireto, conseqüente ou incidental que possa resultar pelo uso da informação, ou pela impossibilidade do uso da informação ou dos dados contidos nesta publicação.

Copyright© European Copper Institute, Hogeschool West-Vlaanderen, Labo Lemcko and Copper Development Association.

Reprodução autorizada desde que o material esteja completo e a fonte mencionada.

# Distúrbios de Tensão

## Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos – Estudo de Caso

### Introdução

Esta seção descreve um estudo de caso sobre afundamento de tensão ocorrido na Bélgica. Um processo industrial bem conhecido por ser sensível é a extrusão de plásticos na indústria têxtil. Neste processo, lascas de plástico são derretidas, transformadas em filamentos e, finalmente, armazenadas em tambores. As fibras podem ser usadas para fazer, por exemplo, tapetes. A Bélgica é a maior exportadora de tapetes do mundo e o segundo maior produtor maior depois dos Estados Unidos.

Para se obter uma compreensão clara do tamanho do problema relativo ao afundamento de tensão para as companhias de extrusão belgas, foi realizada uma pesquisa entre nove usuários deste processo. Neste estudo foi descoberto que a quantidade anual média de interrupções de produção devido ao afundamento de tensão era igual a quatro. realizamos então uma completa auditoria nestas companhias. Os três tópicos seguintes serão descritos:

- O processo de produção;
- A perda financeira devido a uma parada de produção forçada e a configuração da rede de elétrica;
- Possíveis soluções técnicas e econômicas para mitigar os danos.

### Análise do problema

A companhia examinada opera três processos que são vulneráveis ao afundamento de tensão: Filamento Contínuo Principal (FCP), Filamento Contínuo (FC) e Conjunto de Aquecimento. Neste documento, discutiremos o comportamento do processo FCP.

### O processo de produção

A Figura 1 mostra os sub-processos principais em uma linha de extrusão de FCP que produz fibra têxtil a partir de lascas de polímeros. Os seguintes passos podem ser observados:

- A extrusora derrete as lascas em uma substância homogênea;
- A substância homogênea é empurrada para um dispositivo que contém pequenos orifícios (chamado bomba de rotação), resultando em uma fibra;
- Finalmente, a fibra é estirada, torcida e enrolada sobre os carretéis.

Para executar cada um dos processos anteriores, vários acionadores elétricos são usados. Simplesmente olhando para suas especificações e em conversas com os fabricantes, já chegamos a algumas conclusões interessantes. Todos os acionadores que são utilizados na companhia têxtil escolhida são de fabricantes diferentes e cada um tem sua própria característica de imunidade ao afundamento de tensão. Em geral, este nível de imunidade não excede significativamente o nível de compatibilidade de 90% (tensão retida) declarada na norma EN 50160.

Se um dos componentes dispara devido a um afundamento de tensão, o processo inteiro será interrompido. Isto implica que o elo mais fraco determina o comportamento do processo em relação ao afundamento de tensão e todos os componentes devem ser investigados separadamente.

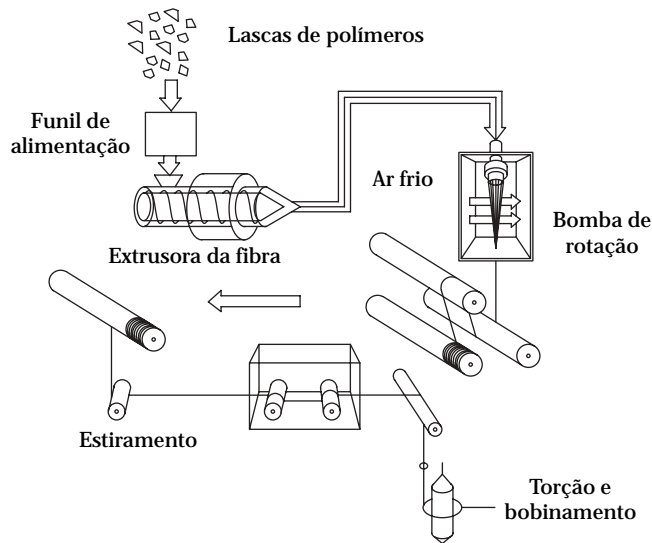


Figura 1 - Os processos de extrusão têxteis.

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

Os fabricantes de máquinas de extrusão para a indústria têxtil também oferecem linhas de produção com imunidade explícita para afundamentos. Não investigamos esta opção em detalhes, uma vez que este estudo de caso foi conduzido em uma linha de produção existente.

O primeiro componente, a extrusora, é acionada por um motor CC. O motor é equipado com um controle de velocidade variável analógico. Para proteger a eletrônica de potência do acionador, a proteção de subtensão é ajustada em um nível muito sensível. Ela bloqueará o processo inteiro sempre que o mesmo apresentar uma queda de tensão de 20% ou mais em uma ou mais fases.

As bombas de rotação são equipadas com um acionador de velocidade variável. A proteção de subtensão destes acionadores irá bloquear o processo se a tensão do barramento de CC for reduzida em 15%. A referência [4] mostra que estes dispositivos são sempre sensíveis a afundamentos trifásicos e, às vezes, para afundamentos em uma ou duas fases.

O estiramento, torção e bobinamento são executados por acionamentos de velocidade variável que são alimentados por um barramento CC comum. Estes acionadores são equipados com proteção cinética: os motores agem como um gerador durante o afundamento e fornecem energia de volta para os barramentos CC.

Concluimos que tanto o acionador da extrusora quanto o acionador da bomba de rotação têm que ser considerados quando se abordam os métodos de mitigação.

Dois pontos possíveis adicionais de preocupação são os controles de ar dos processos e os controles de processos eletrônicos. Nossa investigação mostrará que não é necessário estudá-los com mais detalhes.

### Perdas financeiras

Imediatamente após um afundamento de tensão que interrompe o processo, a mão-de-obra começa a reiniciar as linhas de processo sucessivamente. Dependendo do número de linhas de produção (tipicamente 10 a 20), o processo inteiro é retomado depois de duas a quatro horas. Isto significa que a média de parada de produção varia entre uma e duas horas. Não há nenhuma diminuição no uso de matérias-primas durante estas quatro horas, porque a própria extrusora será ligada imediatamente depois do afundamento de tensão. Se a extrusora não for ligada imediatamente e o material fundido permanecer na extrusora, ele será queimado no reaquecimento e partículas queimadas ficarão saindo da extrusora gradualmente durante vários dias, resultando em produto de baixa qualidade. O custo de tal queima, portanto, seria muito mais alto do que o de descartar o excesso de polipropileno após a extrusão. Além disso, a própria mão-de-obra limpa os dispositivos, não havendo assim nenhum aumento ou diminuição nos custos de trabalho.

Um grande fator de influência relativo à perda financeira é se a produção é contínua ou não. Na produção contínua, como a praticada por esta companhia, a produção perdida durante tempo de manutenção não pode ser recuperada através de horas extras, e assim a perda de produção traduz-se diretamente em perda de receita - a perda é

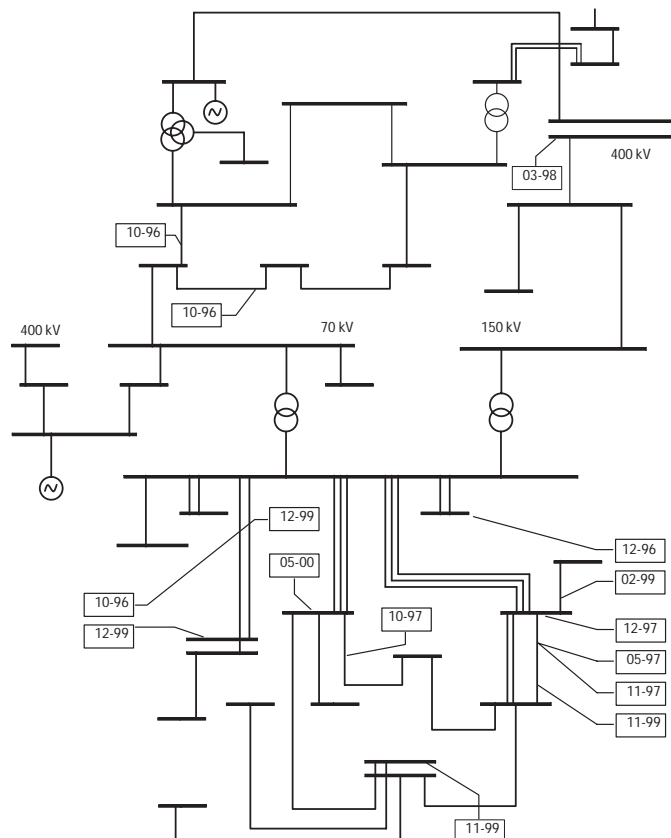


Figura 2 - Esquema unifilar da rede elétrica.  
(Os quadrados mostram a origem geográfica e as datas das faltas)

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

igual ao valor do produto não produzido como resultado do tempo de manutenção. Em um processo não-contínuo, a produção perdida pode ser recuperada por trabalho extra, embora possam existir custos trabalhistas adicionais.

### A rede elétrica e a origem dos danos

A Figura 2 mostra a rede elétrica na vizinhança da companhia de extrusão investigada.

A rede é alimentada por três conexões à linha de transmissão de 400 kV. As etiquetas mostram a localização e as datas (mês/ano) das faltas que resultaram em interrupção de um processo durante o período monitorado de 3,5 anos. Pode ser visto que faltas na rede de distribuição em 15 kV causaram a maioria das paradas de processo. Um medidor de afundamento de tensão instalado na entrada de energia da companhia de extrusão mostrou que a maioria das perturbações é devido às faltas trifásicas. Comparando-se as interrupções de processo com a saída do medidor, vê-se que o equipamento não é vulnerável às faltas trifásicas que resultam em afundamentos com uma tensão retida acima de 84%. Analisando-se as especificações de produto dos componentes, concluímos que os acionadores de velocidades variáveis são partes certamente fracas do processo. Um das possíveis explicações para a elevada ocorrência de faltas trifásicas é o trabalho de escavação para construções nas vizinhanças adjacentes.

### Área de vulnerabilidade

O conceito de “área de vulnerabilidade” (por exemplo [5]) é usado para visualizar a tensão retida na companhia de extrusão devido a um curto-circuito trifásico em qualquer lugar da rede. A Figura 3 mostra esta área de vulnerabilidade para curtos-circuitos simétricos trifásicos. Uma vez que são estas faltas que causam a maioria das interrupções de processo, não temos que usar uma classificação sofisticada de afundamentos de tensão, tal como descrito em [1]. Por exemplo: um cabo ou um barramento nesta rede situado na área cinzenta de 50-75% indica que um curto-circuito trifásico neste cabo ou barramento resultará em um afundamento de tensão na companhia de extrusão com uma tensão retida entre 50-75%.

Como os acionadores das extrusoras e os acionadores das bombas de rotação são vulneráveis a curtos-circuitos com uma tensão retida menor do que 75%, podemos concluir que uma grande parte da rede de distribuição está situada na área de vulnerabilidade da companhia. Isto tem que ser considerado quando forem investigados os métodos de mitigação.

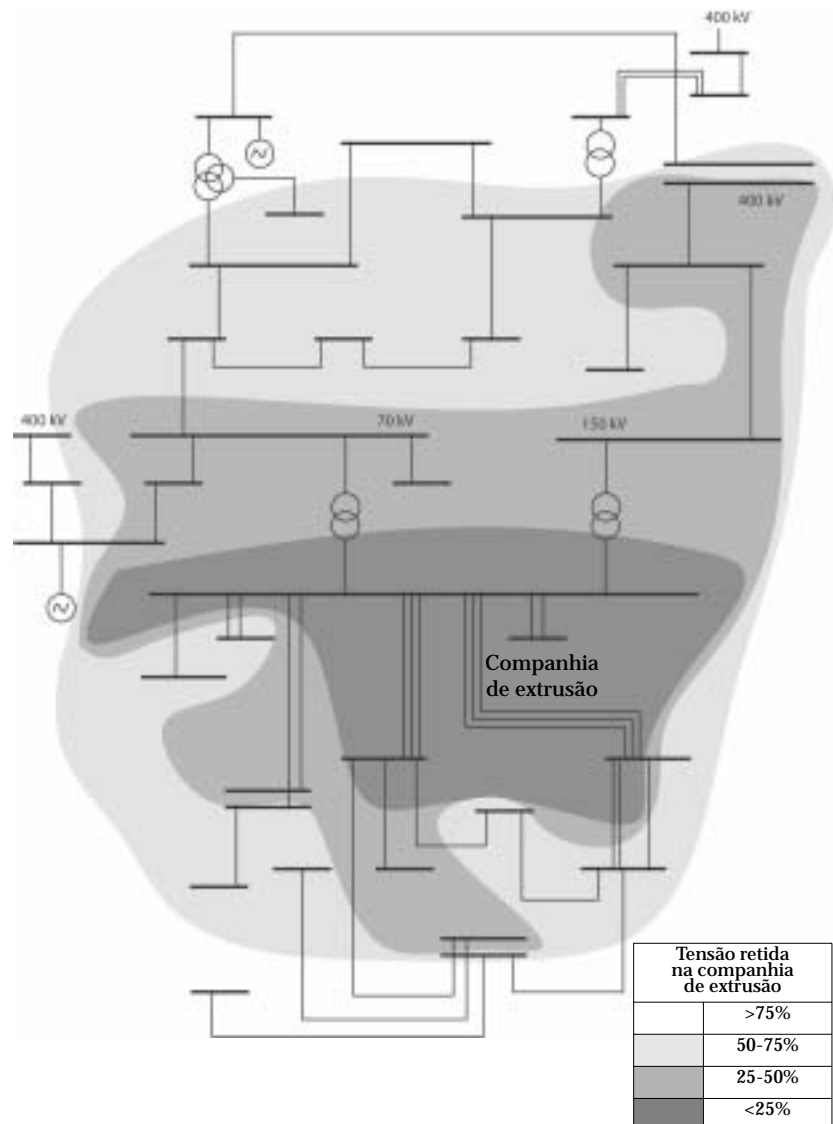


Figura 3 - Área de vulnerabilidade.

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

### Métodos de mitigação

Para tratar dos métodos de mitigação, vejamos o diagrama de blocos apresentado em [5] (Figura 4).

A seguir são investigadas as quatro possibilidades indicadas nesta figura.

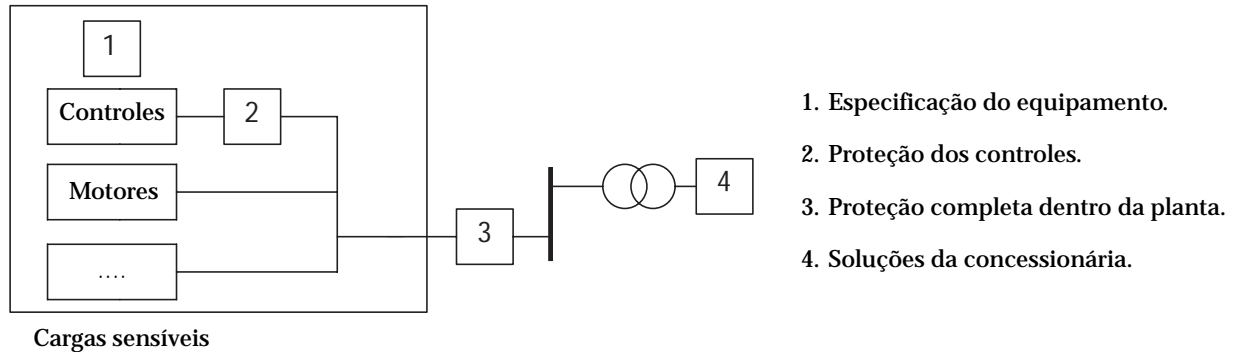


Figura 4 - Soluções para diminuir os custos devidos ao afundamento de tensão [5].

### Proteção de equipamentos: especificação/controles

Antes de alterar o equipamento, é importante fazer um levantamento de todas as partes do processo que são vulneráveis ao afundamento de tensão. O fato que um dos equipamentos que faz parte do processo desligue primeiro, não implica que todos os outros estão imunes ao afundamento de tensão, havendo um alto risco de que algum outro equipamento possa também desligar uma vez que a parte mais sensível tenha sido protegida. Do último parágrafo concluímos que, certamente, temos que observar os dois acionadores das extrusoras e das bombas de rotação. Devemos estar atentos que, protegendo só estes acionadores, não está garantida uma diminuição significativa no número de interrupções devido ao afundamento de tensão, uma vez que outras partes da instalação podem se tornar o elo mais fraco.

Após uma comunicação com o fabricante do acionador da bomba de rotação, aprendemos que não é possível alterar o acionador, uma vez que ele tem um projeto analógico, e, alterar suas características, tais como ajustes de proteção, requerem mudanças de hardware. Devido ao fato de que o barramento CC dos acionadores de velocidades variáveis não é acessível pelo lado de fora, não é possível auxiliar este barramento, por exemplo, com um conversor elevador de tensão [6]. Além disso, do fabricante da linha de extrusão completa recebemos a informação de que o acionador não pode ser trocado por outro devido a conflitos de software. Assim, pode ser concluído que investigações adicionais nesta área não terão utilidade.

### Proteção dentro da planta

Foram investigados vários possíveis métodos para proteger o sistema total ou parcialmente. O sistema completo tem uma potência aparente de 1.625 kVA. Uma vez que 955 kVA são apenas para finalidade de aquecimento, também investigamos a proteção do processo que aciona o sistema. Quando somente uma parte do sistema é protegida, uma chave estática adicional tem que ser instalada, resultando na topologia da Figura 5. Investigamos primeiramente o uso de um Sistema de Energia Ininterrupta (UPS) na forma de um volante com um motor diesel.

Em seguida, investigamos outros sistemas que só protegem contra o afundamento de tensão, mas não contra interrupções. Exemplos destes sistemas são:

- Restaurador de Tensão Dinâmico (DVR): um DVR somente soma a tensão perdida com a tensão da rede (por exemplo [8]);
- DySC: um DySC é um dispositivo de eletrônica de potência que contém uma série de corretores de afundamento de tensão e um conversor paralelo que provê imunidade ao afundamento de tensão com uma tensão retida mínima de 50% e 2 s, que cobre 92% dos afundamentos de tensão que foram relatados em um amplo estudo patrocinado pelo EPRI [3].
- Volante: Um volante sem um gerador a diesel protege o equipamento contra todos os afundamentos de tensão contanto que a inércia do volante possa suportar a carga. A maioria dos volantes pode alimentar a carga nominal durante 3-15 s, o que é suficiente proteger contra todos os afundamentos de tensão, mas não contra interrupções de energia.

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

Os preços de compra para todos os equipamentos para mitigação de afundamento de tensão mencionados não variam substancialmente. Porém, a deveriam ser considerados os custos de manutenção anual e perdas em stand-by e, neste caso, o DySC apresenta o menor custo. Levando-se em conta que todos os afundamentos registrados apresentaram uma tensão retida acima de 50%, podemos concluir que todos os sistemas mencionados teriam protegido o processo contra estes afundamentos de tensão.

Também investigamos o uso de dispositivos UPS separados para todos os acionadores. Isto se mostrou muito mais caro que as outras opções devido à grande quantidade de eletrônica de potência envolvida.

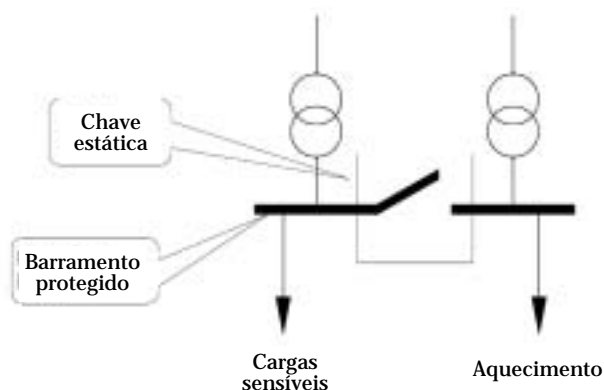


Figura 5 - Protegendo uma parte do processo.

### Solução da concessionária: modificações na rede elétrica

Interrupções do processo também podem ser evitadas alterando-se a rede. Examinamos duas possibilidades:

- Adicionar um gerador de 10 MW;
- Reestruturar a configuração da rede.

A adição de um gerador manterá a tensão restante com:

$$\Delta U = \frac{S_g}{S_k} [\cos(\alpha - \phi)] 100 \quad [9]$$

onde:

$\Delta U$  é o aumento de tensão em% da tensão nominal de linha;

$S_g$  é a potência nominal do gerador;

$S_k$  é a potência de curto-circuito;

$\alpha$  é o ângulo de fase da impedância de curto-circuito;

$\phi$  é ângulo de fase da corrente do gerador.

Uma segunda opção é mudar a conexão à rede. Nesta opção, a companhia seria conectada a um outro alimentador, separado dos vizinhos.

São visualizadas ambas as possibilidades na Figura 6.

Comparando-se a Figura 3 com a Figura 6a, pode ser concluído claramente que a adição de um gerador de 10 MW não vai ajudar muito. Porém, a reestruturação da rede (Figura 6b) alterará a área de vulnerabilidade, assegurando-se que não haverá mais nenhum dano devido ao afundamento de tensão no sistema de distribuição em 15 kV. Uma vantagem adicional é o fato de que esta reestruturação não só protegerá o processo FCP, mas também os outros dois processos mencionados anteriormente (FC e Conjunto de Aquecimento).

Uma vez que as adaptações de rede seriam feitas pela operadora da rede por outras razões, apenas o custo adicional de separar o dois barramentos é que seria cobrado da companhia de extrusão.

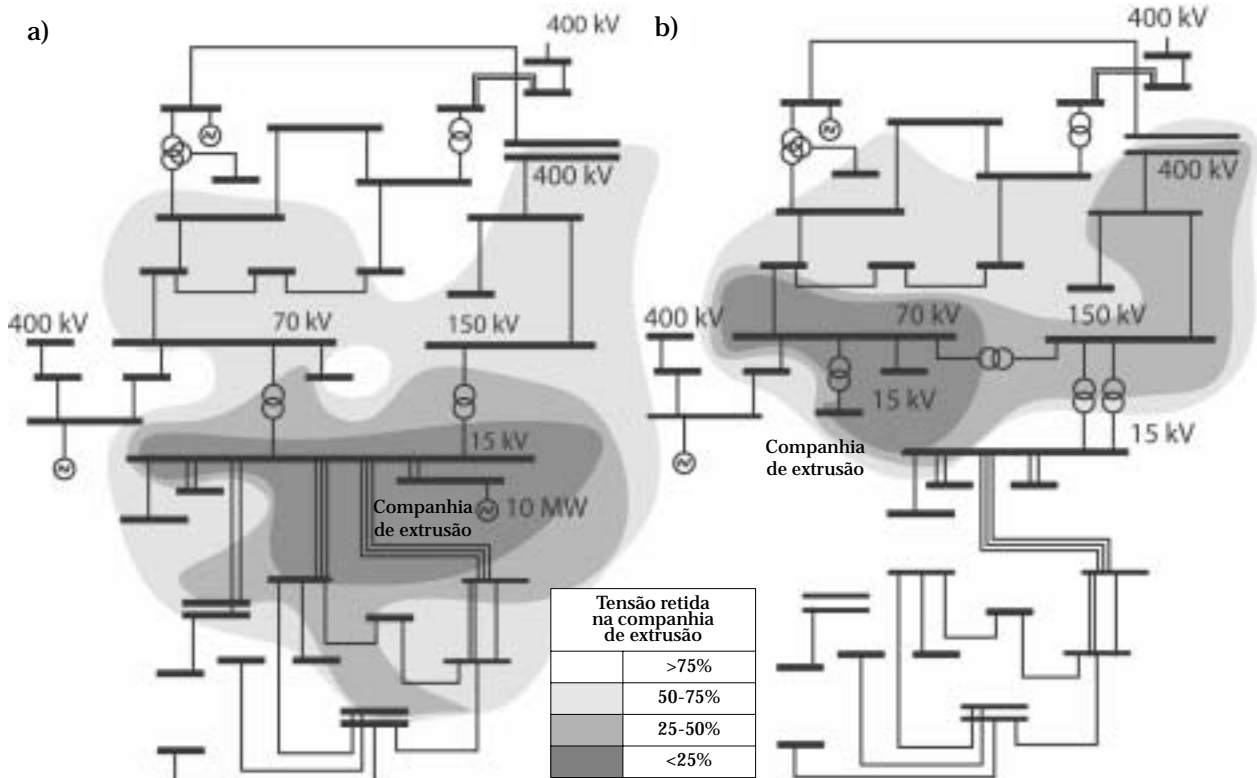
### Análise econômica

Quando as diferentes opções são comparadas, devem ser levados em conta dois itens do custo:

- O custo das perdas atribuível aos afundamentos de tensão, tendo-se em mente que, mesmo depois de terem sido tomadas medidas de proteção, ainda existirá algum pequeno risco;
- O custo das medidas de proteção.

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso



*Figura 6 - Área de vulnerabilidade.*

a) adicionando um gerador de 10 MW

b) modificando a estrutura da rede

Se uma solução é vista ou não como efetiva em termos de custo também depende do critério econômico utilizado para avaliar a solução. Isto será melhor explicado no Fascículo 2 desta Coleção. Para este estudo, usamos o Método do Valor Presente Líquido, com uma Taxa Estabelecida de Retorno de 15% e uma vida útil do equipamento de 10 anos.

Quando calculamos o custo total das opções descritas, obtemos os resultados listados na Tabela 1, na qual o custo das perdas antes da mitigação é normalizado em 100.

Os demais custos de qualidade de energia da opção "A" podem ser explicados pelas três faltas na rede de transmissão (Figura 2). Os outros custos de qualidade de energia das opções "B" a "E" são os custos dos processos não protegidos (FC e Conjunto de Aquecimento).

	Solução	Custo de interrupção (%)	Custo de mitigação	Custo total
Atual	Situação atual	100	0	100
A	Reestruturação	26	62	88
B	UPS para toda instalação (1.625 kVA)	60	303	363
C	UPS para parte da instalação (670 kVA)	60	152	212
D	DySC para toda instalação (1.625 kVA)	60	109	169
E	DySC para parte da instalação (670 kVA)	60	87	147

*Tabela 1 - Comparação das diferentes opções de mitigação (o custo antes de mitigação é 100%).*

<sup>1</sup> Estes custos incluem a manutenção e o stand-by, sendo anualmente 5% do preço de compra no caso de um UPS e 1% para um DySC.



# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

A Figura 7 mostra que só a opção na qual a rede é reestruturada é economicamente atraente de acordo com o critério econômico utilizado.

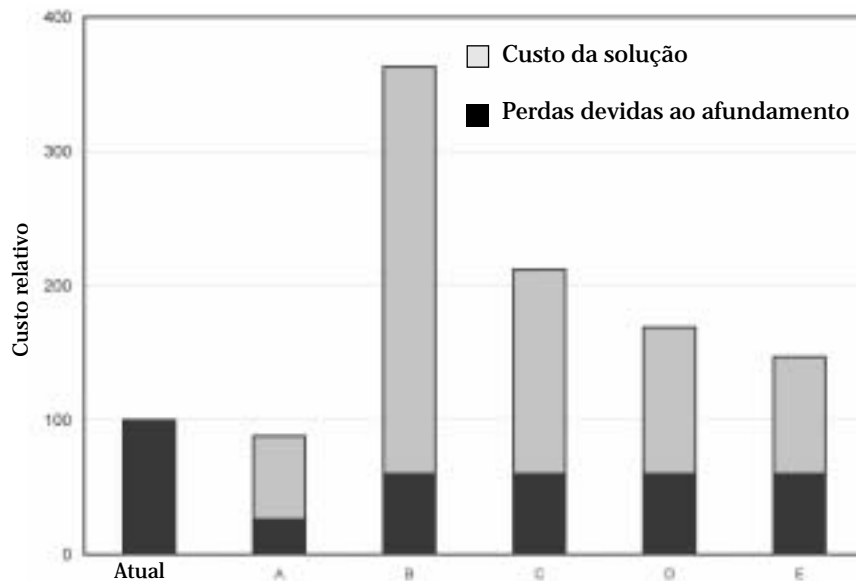


Figura 7 - Custos totais para diferentes opções para um processo belga têxtil de extrusão. Custos expressos em% do caso básico "Atual". Ver Tabela 1 para definições de A-E.

Embora algumas companhias considerem um horizonte de projeto de 10 anos para tal investimento como sendo muito longo, esta empresa decidiu fazer o investimento. Eles argumentaram que alguns custos indiretos ou ocultos, que são muito difíceis de calcular, não são levados em conta neste cálculo. Por exemplo, tais custos incluem insatisfação da mão-de-obra devido às interrupções causadas pelo afundamento de tensão e envelhecimento mais rápido das máquinas.

Para ilustrar que o resultado de um estudo de caso sobre afundamento de tensão depende altamente da localização da instalação, a Figura 8 mostra um estudo de caso em uma planta de extrusão de plástico realizado pela Electrotek Concepts [2]. Neste estudo de caso, onde as interrupções de processo anuais estavam próximas de 15, nenhuma reestruturação da rede foi possível. Neste caso, a opção mais barata foi proteger os controles das máquinas e ventiladores.

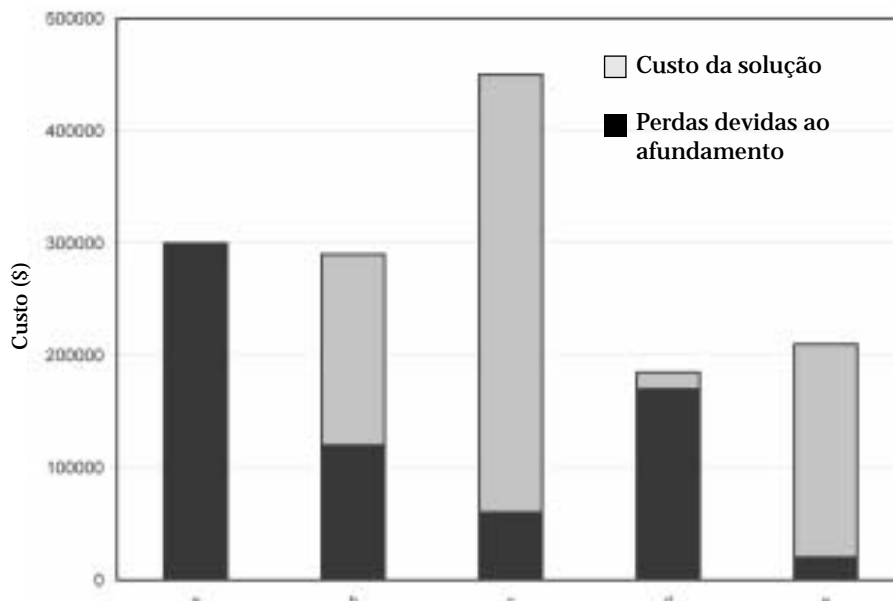


Figura 8 - Custos totais para diferentes opções no estudo de caso da Electrotek [2].

- a) caso base - nenhuma mudança; b) chave estática primária;  
c) armazenamento de energia na entrada de energia (2 MVA); d) Proteção dos controles das máquinas e ventiladores;  
e) combinação de chave estática com proteção dos controles.

# Afundamentos de Tensão em Processos Contínuos

## Estudo de Caso

---

### Conclusão

Baseado no estudo de caso de uma planta têxtil belga, esta artigo fornece diretrizes sobre como realizar um estudo de caso sobre afundamento de tensão. Para tanto, devem ser coletadas informações sobre o processo de produção, sua imunidade contra afundamentos, a perda financeira devida à interrupção do processo e dados sobre o número anual de afundamentos. Se esta informação é obtida, podem ser investigadas algumas possibilidades para reduzir os custos das interrupções, as quais podem ser classificadas em três grupos:

- No próprio processo;
- Entre o processo e a rede;
- Na rede.

A imunização entre o processo e a rede pode ser aplicada em todas as situações, embora as possibilidades de imunização no processo ou na rede tenham que ser estudadas separadamente.

Em nosso estudo de caso, verificou-se que as opções de imunização no processo não eram possíveis. Opções de imunização entre o processo e a rede pareceram ser muito caras e uma reestruturação da rede foi a única opção financeiramente viável. Um outro estudo de caso de um processo de extrusão de plástico, realizado pela Electrotek Concepts, mostrou que a proteção dos controles e ventiladores era a solução mais efetiva em termos de custo.

A partir dos estudos de caso mencionados, e com discussões com fabricantes de máquinas de extrusão, pudemos tirar algumas conclusões interessantes adicionais:

- Os produtos padronizados dos fabricantes de máquinas de extrusão não têm qualquer imunidade aos afundamentos de tensão além daqueles mínimos estabelecidos pelos regulamentos oficiais;
- Às vezes, a renovação das linhas de extrusão têxteis após sua instalação é possível. Portanto, recomendamos que os usuários de máquinas de extrusão têxteis que entrem em contato com o fornecedor de energia elétrica e/ou o operador da rede para obter a quantidade e as características dos afundamentos de tensão nos últimos anos. Baseados nesta informação, os usuários podem instalar máquinas com imunidades adequadas para o afundamento de tensão, ao invés de comprar aquelas que tem baixa, ou nenhuma, tolerância aos afundamentos de tensão.

### Referências

- [1] D Dorr, M Hughes et al, 1997; *Interpreting recent power quality surveys to define the electrical environment; IEEE transactions on industry applications vol. 33 no. 6 pp. 1480-1487.*
- [2] M McGranaghan, C Melhorn, 1998; *Economics of different plant ride-through improvement solutions for power system problems; The Machinery Reliability Conference, Charlotte, USA (http://www.pqstore.com/supp/pdf/RideThroughImprovementSolutions.pdf).*
- [3] W Brumsickle, R Schneider et al. 2001; *Dynamic Sag Correctors: cost-effective industrial power line conditioning; IEEE Transactions on Industry Applications, vol.37, no.1, Jan/Feb 2001, pp.212-217.*
- [4] R Epperly, F Hoadley, R Piefer, 1997; *Considerations when applying ASDs in continuous processes, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.33, no.2, March 1997, pp.389-396.*
- [5] R Dugan, M McGranaghan, H Beaty, 1996; *Electrical Power Systems Quality; McGraw-Hill, Knoxville, USA.*
- [6] L Morgan, J Dougherty 2001; *Embedded energy solutions in CNC-Machines, PQA 2001, Pittsburgh.*
- [7] A Van Zyl, R Spee, A Faveluke, S Bhowmik, 1998; *Voltage sag ride-through for adjustable speed drives with active rectifiers, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, No. 6, Nov/Dec.*
- [8] M Bollen, 1999; *Understanding power quality problems, voltage sags and interruptions; IEEE press series on power engineering, Piscataway, USA (ISBN 0-7803-4713-7).*
- [9] VDEW, 1994; *Technische Richtlinie, 'Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen mit dem Mittelspannungsnetz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens'.*

# Referências & Membros Fundadores

European Copper Institute* (ECI) <a href="http://www.eurocopper.org">www.eurocopper.org</a>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <a href="http://www.etsii.upm.es">www.etsii.upm.es</a>	LEM Instruments <a href="http://www.lem.com">www.lem.com</a>
Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) <a href="http://www.agh.edu.pl">www.agh.edu.pl</a>	Fluke Europe <a href="http://www.fluke.com">www.fluke.com</a>	MGE UPS Systems <a href="http://www.mgeups.com">www.mgeups.com</a>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) <a href="http://www.citcea.upc.es">www.citcea.upc.es</a>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <a href="http://www.htw-saarland.de">www.htw-saarland.de</a>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <a href="http://www.uni-magdeburg.de">www.uni-magdeburg.de</a>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <a href="http://www.ceiuni.it">www.ceiuni.it</a>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <a href="http://www.pih.be">www.pih.be</a>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <a href="http://www.miedz.org.pl">www.miedz.org.pl</a>
Copper Benelux* <a href="http://www.copperbenelux.org">www.copperbenelux.org</a>	International Union for Electricity Applications (UIE) <a href="http://www.uie.org">www.uie.org</a>	Università di Bergamo* <a href="http://www.unibg.it">www.unibg.it</a>
Copper Development Association* (CDA UK) <a href="http://www.cda.org.uk">www.cda.org.uk</a>	ISR - Universidade de Coimbra <a href="http://www.isr.uc.pt">www.isr.uc.pt</a>	University of Bath <a href="http://www.bath.ac.uk">www.bath.ac.uk</a>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <a href="http://www.kupferinstitut.de">www.kupferinstitut.de</a>	Istituto Italiano del Rame* (IIR) <a href="http://www.iir.it">www.iir.it</a>	The University of Manchester <a href="http://www.manchester.ac.uk">www.manchester.ac.uk</a>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <a href="http://www.ecd.it">www.ecd.it</a>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <a href="http://www.kuleuven.ac.be">www.kuleuven.ac.be</a>	Wroclaw University of Technology* <a href="http://www.pwr.wroc.pl">www.pwr.wroc.pl</a>
EPRI Solutions Inc <a href="http://www.epri.com/eprisolutions">www.epri.com/eprisolutions</a>	Laborelec <a href="http://www.laborelec.com">www.laborelec.com</a>	

## Conselho Editorial

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof. Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr. Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof. Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr. Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof. Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof. Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr. ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr. Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	ERA Technology s	tephanie.horton@era.co.uk
Dr. Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof. Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof. Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI Solutions	mmcgranaghan@eprisolutions.com
Dr. Jovica Milanovic	The University of Manchester	jovica.milanovic@manchester.ac.uk
Dr. Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr. ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof. Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	sumper@citcea.upc.edu
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



KATHOLIEKE UNIVERSITEIT  
**LEUVEN**

University of Leuven, Energy Institute  
Celestijnenlaan 300a  
3001 Heverlee  
Belgium

Tel: 00 32 16 32 25 08  
Fax: 00 32 16 32 29 85  
Email [marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be](mailto:marcel.didden@mech.kuleuven.ac.be)  
Web: [www.kuleuven.ac.be](http://www.kuleuven.ac.be)

*Dipl-Ing Marcel Didden*

**PRO**  **COBRE**  
Connects Life.™

Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128 - cj.203  
São Paulo - SP  
Brasil

Tel./Fax: 55 11 3816-6383  
e-mail: [procobrebrasil@copper.org](mailto:procobrebrasil@copper.org)  
Internet: [www.procobre.org](http://www.procobre.org)

  
**COPPER**  
institute

European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
e-mail: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)