

Impacto da Qualidade da Energia Elétrica em um Processo de Produção de Cloro e Soda Cáustica

Tatiana Ferreira
Paulo Roberto Britto Guimarães
Universidade Salvador – UNIFACS
tfferreira@dow.com
paulorbg@unifacs.br

Thomás Souza
Dow Brasil S.A. – Unidade de Aratu
tasouza@dow.com

Daniel Barbosa
Kleber Freire da Silva
Universidade Federal da Bahia – UFBA
Universidade Salvador – UNIFACS
daniel.barbosa@pro.unifacs.br
kfreire@unifacs.br

Resumo- Atualmente, preocupações sobre a qualidade da energia elétrica são muito importantes devido ao aumento da necessidade por confiabilidade e aumento do uso de tecnologias mais sensíveis a distúrbios no fornecimento de energia. Estudos de impactos, em usuários finais, tem sido conduzidos com o objetivo de encontrar soluções para cada setor ou atividade industrial. A produção de cloro e soda cáustica é um processo eletro-intensivo e contínuo que depende muito da qualidade da energia para confiabilidade operacional. O processo consiste na eletrólise da salmoura, com alimentação de corrente elétrica retificada, para produção de cloro e soda cáustica. Algumas falhas no fornecimento de energia elétrica resultam em desligamento dos retificadores, da eletrólise e de todo processo produtivo, com impactos na integridade dos equipamentos, perdas de produção, geração de produtos que não atendem a especificação dos clientes e possibilidade de eventos de segurança de processo ou que afetem o meio ambiente.

Palavras-chave-- Energia, Qualidade, Eletrólise, Cloro, Soda Cáustica.

I. INTRODUÇÃO

O termo “qualidade da energia elétrica” (QEE) está associado a vários problemas que ocorrem em inúmeras áreas do sistema de energia elétrica, desde o funcionamento dos equipamentos de geração, de transmissão e de distribuição da energia elétrica. Este termo caracteriza, também, qualquer variação ou deformação na forma da onda, permanente ou transitório, que possa levar a interrupção ou mau funcionamento de equipamentos elétricos [1].

Em face, principalmente, aos seus impactos, os diversos fenômenos de QEE vem sendo estudados de forma correlacionada pelas concessionárias de energia elétrica, pelos fabricantes de equipamentos, pelos projetistas e por pesquisadores. Todavia, entre os diversos setores da economia, o setor industrial destaca-se pela necessidade em garantir uma operação estável e segura, uma vez que os custos resultantes das paradas e falhas na rede de distribuição geram grandes perdas financeiras, pois estes envolvem grande volume de capital e custos operacionais elevados [2].

Assim, alguns trabalhos têm sido publicados na literatura com o objetivo de avaliar e identificar os fenômenos e os impactos da QEE em diversos setores industriais. Em levantamentos realizados por [3-5], os principais distúrbios estão associados aos harmônicos, aos afundamentos e as elevações de tensão. É importante salientar que as avaliações das causas das ocorrências são muito importantes para implementação de melhorias no suprimento de energia elétrica e, consequentemente, aumento da confiabilidade do processo industrial envolvido.

Nesse sentido, pesquisas com usuários de energia elétrica em sete setores industriais na China, nos quais incluem-se a indústria de semicondutores, automotiva, metalúrgica, farmacêutica, química, alimentação e serviços, mostrou o impacto significativo pelos custos anuais gerados por problemas associados à QEE. Destes, os setores mais impactados foram o de semicondutores, automotivo e metalúrgico [6].

Em Portugal, foi conduzida uma pesquisa com 20 empresas, de 8 diferentes setores, para avaliar a satisfação dos clientes em relação à QEE, levantar as principais causas dos distúrbios e quantificar os eventos observados. Após a análise dos resultados, verificou-se que os setores mais afetados em quantidades de eventos foram: a indústria de móveis e produtos de madeira e a indústria de papel, com mais de 340 eventos por ano.

Adicionalmente à pesquisa supracitada, foi identificado que a duração do distúrbio possuía pouco impacto nas perdas globais das empresas, uma vez que a maioria dos eventos resultam em desligamentos e o maior impacto a estas está associado ao custo referente à recuperação da produção. O custo total estimado para os tipos de distúrbios pesquisados foi cerca 70% do consumo total de energia elétrica das unidades analisadas [7].

Os impactos dos distúrbios de QEE também foram pesquisados na indústria farmacêutica na Índia, cujos resultados mostraram que quase um terço das interrupções de processo são

relacionados a problemas com os níveis de tensão e o custo anual associado aos eventos foi estimado em torno de 10% do faturamento total das empresas entrevistadas [8].

Diante do exposto, verifica-se que os efeitos da QEE podem ser avaliados em diversos aspectos na operação industrial, incluindo a perda de produção, de vendas e de competitividade, assim como o desperdício de energia elétrica e de produtos, além da geração de resíduos e da redução de tempo de vida de equipamentos [9].

É importante salientar, nesse contexto, a existência de muitas indústrias com processos avançados de produção que requerem fornecimento de energia elétrica com alta qualidade e confiabilidade [9], uma vez que o aumento da automação dos equipamentos, necessária para o aumento da confiabilidade, da qualidade e da otimização dos meios de produção, associados a crescente disponibilização de novas tecnologias, tornam os processos produtivos muito mais vulneráveis e sensíveis aos distúrbios de QEE. Dessa forma, avaliações dos impactos nos equipamentos e nos usuários finais tem sido explorados, assim como soluções para reduzir seus efeitos [1].

As indústrias eletro-intensivas, em particular, são muito sensíveis as variações no fornecimento de energia elétrica, pois utilizam a eletricidade como um importante insumo em todo o processo produtivo. E inserida nessa categoria, estão as fábricas de cloro-soda que usam eletricidade para o processo de eletrólise, onde é utilizada como força motriz para a dissociação dos íons e na reação nos pólos catódicos e anódicos. Na produção de cloro e soda cáustica, por exemplo, é utilizado em torno de 3,2 MWh por tonelada métrica de cloro produzido e o funcionamento dos equipamentos é bastante dependente da QEE fornecida pelo sistema elétrico.

O processo de produção do cloro e soda cáustica é contínuo e altamente dependente da QEE para manutenção da operação de toda a cadeia de unidades e de equipamentos que alimentam o processo com utilidades e matérias-primas. Um distúrbio que afete alguns equipamentos, ou áreas, pode resultar em sucessivos eventos em cadeia, levando a interrupção completa da produção da fábrica [10].

No processo de cloro-soda utilizados na indústria, a eletrólise se destaca, pois utiliza corrente contínua para sua operação, implicando, primeiramente, a realização da retificação da corrente alternada para a corrente contínua através de grandes retificadores. Estes equipamentos possuem limites operacionais estreitos de modo a garantir sua integridade e a segurança da operação da eletrólise. Se a QEE não atender as especificações requeridas, os retificadores são desligados automaticamente, causando uma parada repentina na eletrólise, bem como, falhas na alimentação dos motores e, conseqüentemente, o desligamento completo da fábrica [11].

As conseqüências de um desligamento não planejado são perdas de produção, descarte de produtos fora da especificação, possíveis danos a equipamentos e riscos de vazamentos com conseqüentes eventos de segurança de processo. Neste trabalho, detalharemos as conseqüências geradas por interrupção no fornecimento de energia elétrica para a unidade de eletrólise e para demais equipamentos e motores, em uma fábrica de cloro

e soda cáustica, com tecnologia de diafragma, localizada no estado da Bahia.

II. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CLORO E SODA CÁUSTICA

A produção mundial de cloro foi estimada em 2008 em 59 milhões de toneladas métricas [12]. Em 2014, a produção de cloro, no Brasil, atingiu 1.260,5 mil toneladas, volume 1% maior que o produzido no ano de 2013, assim como a soda cáustica, cuja produção nacional foi 0,5% superior ao ano anterior, com 1.386,3 mil toneladas. Os principais produtores são, a Dow Brasil, na Bahia e a Braskem, em Alagoas e Bahia [13].

Assim, diante de um crescimento da produção, e sabendo-se que a energia elétrica é o principal insumo na indústria de cloro-álcalis, denominada eletro-intensiva, aumenta-se a preocupação com os parâmetros de fornecimento de energia elétrica para esse tipo de indústria. Tal fato decorre deste insumo ser responsável por aproximadamente 46% do custo total de produção. Por esta razão, a indústria de cloro-álcalis depende da segurança no fornecimento de energia a um custo competitivo. Em 2014, para a produção de 1.260,5 mil toneladas de cloro, foram utilizados cerca de 4.112,6 GWh de energia elétrica ou 3,26 MWh por tonelada de cloro produzido [13].

Atualmente, em todo o mundo, a maior parte do cloro é obtida através da tecnologia com células a diafragma que representa cerca de 60% da produção total. Os produtos deste tipo de células são o cloro gasoso, o hidrogênio (H_2) gasoso e o efluente de célula, composto de uma solução de hidróxido de sódio e cloreto de sódio [13], conforme ilustra a Fig. 1.

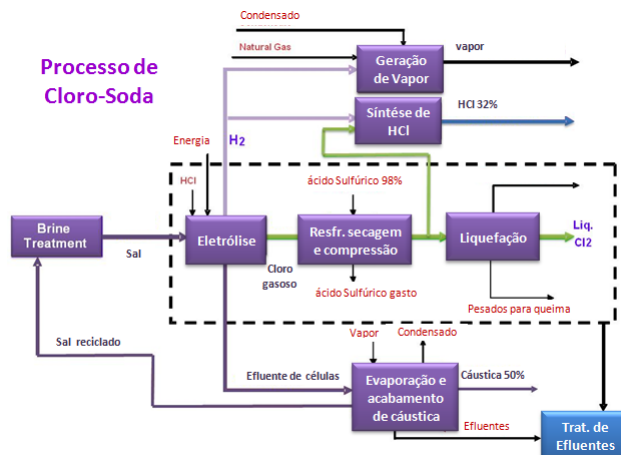


Figura 1. Processo de fabricação da cloro e soda [11].

Uma solução saturada de cloreto de sódio (salmoura) entra no compartimento do anodo da célula diafragma e flui através do diafragma para o compartimento do cátodo. Os íons cloreto são oxidados no ânodo para a produção do cloro. O hidrogênio gasoso e íons hidróxido são produzidos no cátodo. Os íons sódio migram através do diafragma passando do compartimento do ânodo para o lado do cátodo para produzir o efluente contendo 10 a 12% de hidróxido de sódio [13].

A solução cáustica diluída, habitualmente é enviada a um processo de evaporação no qual, resulta uma solução com 50% de hidróxido de sódio e uma separação do sal. O sal recuperado

no processo de evaporação é reutilizado como parte da matéria prima de preparação da salmoura que alimenta as células. O cloro produzido passa por uma unidade de resfriamento, secagem e compressão onde é enviado para a unidade de purificação e liquefação. Esses processos contam com diversos motores críticos ao funcionamento da cadeia produtiva e a QEE suprida ao sistema de alimentação de motores também é um item crítico para garantir confiabilidade operacional [13].

III. REQUISITOS DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Por conta da necessidade do uso de retificadores de alta potência e, por consequência, da alta demanda de energia de uma unidade de eletrólise para produção de cloro e soda cáustica, existem alguns problemas relacionados com a QEE. Destes, os que mais impactam, são a necessidade de estar conectada no Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC, a existência de harmônicos e o baixo fator de potência. Além destes, para garantir a operação dos equipamentos elétricos, os limites dos valores de tensão também devem ser respeitados.

O ERAC é um dos mais importantes Sistemas Especiais de Proteção – SEP, tendo evitado, com a sua correta atuação, diversas interrupções gerais no Sistema Elétrico ao longo dos anos. Isto é possível graças à disponibilização de carga para corte em diversos estágios, dentro de valores recomendados. Com o corte automático de cargas por subfrequência o equilíbrio entre carga e geração é re-estabelecido e o colapso do sistema evitado [14].

Por conta da alta demanda, a fábrica apresenta desligamentos automáticos associados a frequência do sistema elétrico. Dentre estes limites, estão a taxa de variação da frequência ($\partial f/\partial t$) e a frequência absoluta, visto que ambas possuem ajustes instantâneo e temporizado. Os ajustes utilizados são calculados pelo Operador Nacional do Sistema – ONS e enviados para que os Agentes façam a implementação destes. O valor do ajuste depende do Estágio no qual o consumidor está alocado no ERAC, sendo que quanto menor o estágio maior os valores de corte [14]. Tabela 1 apresenta os ajustes do ERAC aplicados no Nordeste brasileiro.

TABELA I. AJUSTES DO ERAC DA REGIÃO NORDESTE EM 2004 [14]

ESTÁGIOS	REGIÃO NORDESTE				CARGA REJEITADA (%)
	EXCETO ÁREA OESTE			ÁREA OESTE	
	TAXA DE FREQUÊNCIA (Hz/s)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA (Hz)		FREQUÊNCIA ABSOLUTA	
		Temporizado	Instantaneo		
1	0,7	58,3 (10 s)	56,5	57,8	5,5
2	1,0/1,1	58,0 (12 s)	56	57,1	7,5
3	1,6/1,7	58,0 (20 s)	55,8	56,5	11
4	2,2/2,3	-	55,5	55,5	8
5	3,2	-	55,2	55,2	8
TOTAL					40

Diante da criticidade do processo, bem como da necessidade de garantir a operabilidade do sistema frente as futuras ocorrências, de tempos em tempos são feitas verificações para garantir que o Sistema Interligado Nacional está devidamente protegido.

Com relação a existência dos harmônicos, estes são gerados em sua maioria pela operação dos retificadores de alta potência. A ordem dos harmônicos gerados irá depender da configuração da unidade retificadora. Os harmônicos podem trazer danos e mau funcionamento de equipamentos eletrônicos. Para mitigar estes riscos e reduzir eventuais paradas na planta em face a este fenômeno, são instalados filtros. Na fábrica de cloro e soda cáustica em estudo, foram instalados filtros sintonizados para as harmônicas de 5ª e 11ª ordem, cuja operação depende do funcionamento das unidades retificadoras [15].

A operação das unidades retificadoras agrava outro problema relacionado com a QEE, o baixo fator de potência da Unidade Fabril. Apesar do baixo fator de potência não trazer consequências para a operação da fábrica, elas representam um risco financeiro associado ao processo, uma vez que podem acarretar incidência de multas quando os parâmetros estabelecidos pelos procedimentos de rede da NOS não são atendidos.

De acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010, seção IV, Art. 95 o fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido o valor de 0,92. Para mitigar o risco de multas e atender os requisitos da norma, tecnologias de correção devem ser empregadas. No caso da unidade fabril em questão a tecnologia adotada é compensação de reativos através da operação de Bancos de Capacitores que podem chegar a 60 MVar [14]. Outra influência da QEE no processo industrial está relacionada com a tensão de suprimento da rede, uma vez que os retificadores e outros equipamentos elétricos são desligados automaticamente devido a subtensão.

Com a subtensão do sistema alguns componentes dos circuitos auxiliares são sensibilizados (tensão de *drop-out*) e enviam o comando de abrir para os equipamentos de interrupção. Outro caso de desligamento é através da atuação das proteções de subtensão que podem ser sensibilizadas a depender do tempo da ocorrência do distúrbio. Para os circuitos auxiliares de 127 V, o limite para operação dos sistemas são tensões acima de 80 V. Para as proteções os ajustes dependem do equipamento que está sendo protegido.

Durante os anos de 2014 e 2015 foram registradas cinco ocorrências relacionadas com distúrbios no fornecimento de energia elétrica na fábrica de cloro e soda cáustica estudada nesse trabalho. Os distúrbios de falha na QEE foram: um evento de variação de tensão em 2014, um evento de *blackout* por sobretensão na região em 2014 e três eventos de oscilação de frequência do sistema elétrico em 2015.

Dados das oscilografias de tensão e de frequência foram disponibilizados pela concessionária de energia elétrica para um dos eventos que ocorreram em 2014, conforme Fig. 2 e 3 [16]. É possível observar na Fig. 2 o afundamento de tensão de curta/ longa duração que acarretou o desligamento imediato de toda a fábrica.

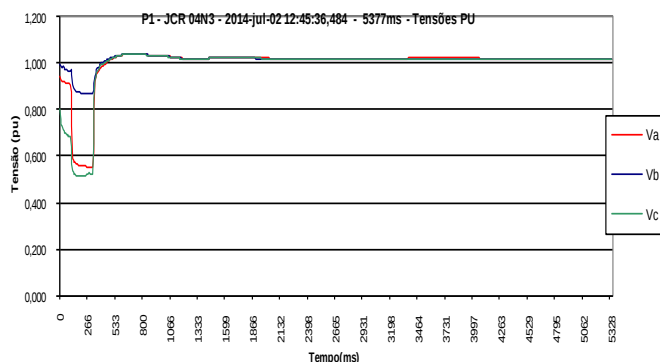


Figura 2. Dados coletados para o fornecimento de energia para a subestação da Dow Brasil SA: oscilografia de tensão – 02/07/2014 [16].

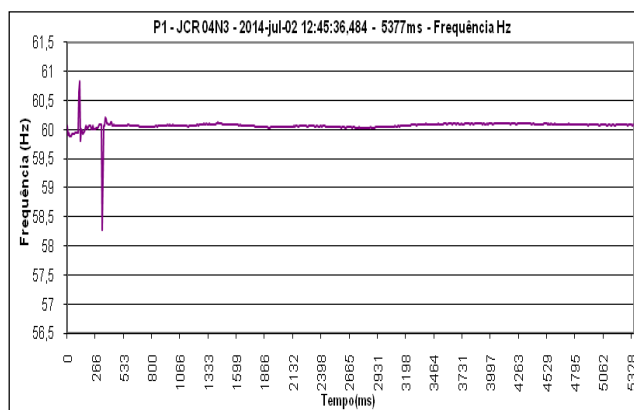


Figura 3. Dados coletados para o fornecimento de energia para a subestação da Dow Brasil SA: oscilografia de frequência – 02/07/2014 [16].

IV. CONSEQUÊNCIAS NA PLANTA DE CLORO E SODA

Como supracitado, os fenômenos de QEE afetam diversas partes do processo produtivo industrial, promovendo perdas, seja em relação à produção ou a segurança operacional da planta.

A. Perdas de Produção

Interrupções no fornecimento de energia elétrica, resultam em paradas não planejadas que levam a perdas significativas de produção, causando impacto nos inventários e no plano de vendas de produtos da cadeia, dependentes da produção de cloro. A parada dos retificadores provocará a parada imediata da produção de cloro, assim como deficiências na alimentação de motores críticos como por exemplo, os compressores de cloro, geram também interrupções não planejadas de toda cadeia produtiva.

Mesmo que a falha na alimentação de energia seja muito rápida e o sistema elétrico retorne à operação normal, o retorno da fábrica ocorrerá em torno de seis horas, caso não haja nenhum dano aos equipamentos durante o desligamento repentino. Na figura 4, são apresentados os dados percentuais relativos a produção planejada, antes e após um desligamento elétrico que ocorreu em 26/02/2016. A partida da unidade de cloro iniciou cerca de doze horas após o desligamento (curva magenta) e a capacidade produtiva foi completamente reestabelecida cerca de trinta e seis horas após o evento [16].

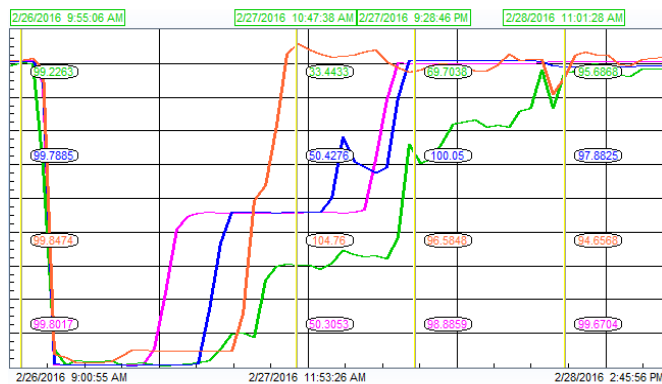


Figura 4. Dados do % de utilização da planta de Cloro ---, Hidrogênio ---, Soda Cáustica --- e Ácido Clorídrico ---, durante um evento de desligamento elétrico e partida das unidades [16].

É importante salientar que o reestabelecimento contempla a partida dos compressores, das unidades de refrigeração e dos sistemas de utilidades: compressores de ar, circuito de água de refrigeração, caldeiras, etc. Outro aspecto referente a custos operacionais, é que a energia utilizada durante a partida acrescenta custos adicionais ao processo [16].

Além das perdas de cloro e de cáustica pelo período de interrupção da produção, devemos adicionar as perdas que ocorrem durante o desligamento não planejado, pois um certo volume de cloro é despressurizado para o sistema de lavadores cáusticos para garantir que não haverá vazamento de cloro. Assim parte do cloro já produzido, reage com a cáustica também já disponível para acabamento, gerando efluentes para descarte e tratamento, além das perdas dos produtos [16].

A produção de hidrogênio também é imediatamente interrompida e o retorno à operação normal leva em torno de seis horas. Na figura 4, o reestabelecimento da produção de hidrogênio (curva verde), ocorreu quase 24 horas depois do desligamento que ocorreu em 26/02/2016. Também deve ser adicionado as perdas associadas a completa purga do sistema para a atmosfera, durante o desligamento, para evitar explosões de hidrogênio por entrada de ar no sistema. Neste período, as caldeiras que utilizam o hidrogênio como combustível, passam a consumir gás natural para complementação da carga de combustíveis, adicionando custo operacional e o aumento das emissões de dióxido de carbono [16].

Na figura 5, pode ser observado um aumento de quase 10% no inventário do tanque de efluentes, logo após o desligamento da planta, ocorrido em 04/01/2016. Esse volume é resultante da despressurização da planta para os lavadores cáusticos, que gera perdas de cloro e soda cáustica.

Consequentemente, também existem perdas de produção de solução de ácido clorídrico, utilizada para neutralização de efluentes e controle da operação da eletrólise. Essa unidade utiliza o cloro e o hidrogênio para produção de solução de ácido clorídrico e tem perdas estimadas em 4 horas de produção, a partir do reestabelecimento da operação da área de eletrólise, o que leva em torno de dez horas após a ocorrência do desligamento dos retificadores. Na figura 4, o reestabelecimento da produção de ácido clorídrico (curva azul), ocorreu quase 14 horas depois do desligamento que ocorreu em 26/02/2016 [16].

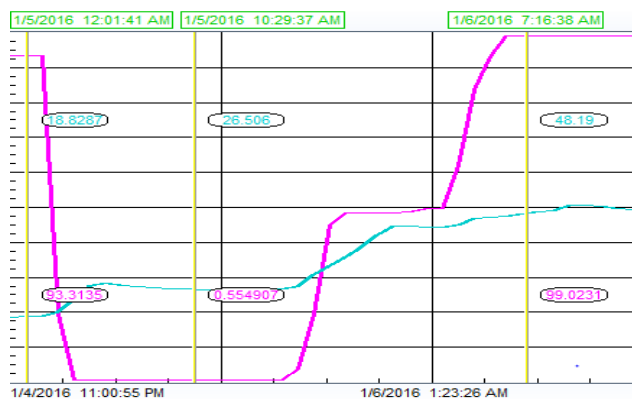


Figura 5. Dados do % de utilização da planta de Cloro --- durante um evento de desligamento elétrico e o acúmulo de produto fora de especificação ---- no tanque de efluentes, durante o desligamento e partida da unidade, ocorrido em 04/01/2016 [16].

Na partida da eletrólise, temos perdas associadas ainda maiores para a produção de soda cáustica, pois as quatro primeiras horas de produção de cáustica diluída das séries, é produzida fora de especificação e necessita ser purgada para o sistema de tratamento de efluentes gerando mais perdas de produção e custos para neutralização e disposição de resíduos. Na figura 5, pode ser observado um aumento de quase 20% no inventário do tanque de efluentes, durante a partida da planta, em 05/01/2016 [16].

Em resumo temos um somatório de perdas, associados a interrupção do processo produtivo:

- 1) Perdas por comissionamento da planta para garantir uma parada segura: purgas e lavagens de gases;
- 2) Tempo e energia utilizada para partir todos os sistemas auxiliares e equipamentos do processo;
- 3) Perdas associadas a geração de produtos fora de especificação, desperdiçando matérias-primas e elevando o custo de tratamento de resíduos.

B. Integridade dos Equipamentos

Desligamentos da alimentação elétrica de uma planta de cloro-soda podem resultar em diversos danos a equipamentos e sistemas que podem levar a um aumento da perda de produção e a custos adicionais para reparos ou substituições. Alguns equipamentos e instrumentos são mais sensíveis aos distúrbios de QEE e suas consequências estão descritas a seguir.

a) *Séries Eletrolíticas*: uma parada dos retificadores por desligamento não planejado pode gerar danos nas séries eletrolíticas que podem levar a redução no seu atual ciclo de lavagem. Esse efeito ocorre porque o diafragma, meio por onde flui seletivamente os íons em uma célula eletrolítica, é comprimida, alterando sua capacidade de manter o fluxo. Para recuperação da sua capacidade e eficiência de eletrólise, a série eletrolítica é lavada para remoção de dureza e realizado tratamento com fibras para recuperação do diafragma. Também podem ocorrer danos que obrigam a retirada de operação para reparos, o que pode resultar em redução de produção em torno de 15% da capacidade durante uma a duas semanas [11].

b) *Compressores e motores*: outros equipamentos críticos para a produção de cloro e soda podem ser danificados em um desligamento não planejado ou outros problemas de QEE. Os compressores e todos os demais motores podem sofrer danos se submetidos a grandes variações de tensão ou interrupção de alimentação elétrica, caso não ocorra a desaceleração do sistema rotativo [11].

c) *Fornos de HCl*: fornos para produção de ácido clorídrico, possuem queimadores frágeis e podem partir durante um desligamento, requerendo substituição e mais tempo de interrupção da produção [11].

d) *Equipamentos que operam com sólidos*: o processo de concentração e acabamento da soda cáustica tem diversas etapas que envolvem operações com produtos na fase sólida. Interrupções não planejadas de energia elétrica ou desligamento de motores críticos para a operação contínua da planta de soda cáustica, leva a obstrução de linhas e equipamentos. O processo para retorno a operação envolve lavagem e muitas vezes desconexão das linhas para limpeza mecânica. Esses eventos contribuem bastante desgaste das instalações e para o aumento de gastos para desobstrução e reativação da operação normal, assim como o aumento das perdas de produção associadas ao tempo de interrupção da operação da unidade [11].

C. Segurança de Processo

Além dos aspectos operacionais de produção, a segurança da planta é um dos fatores mais importantes nesse tipo de processo fabril, pois em uma fábrica de cloro, o desligamento não planejado dos retificadores é considerado uma parada emergencial, visto que existe o risco potencial de vazamento de cloro para a atmosfera. Da mesma forma, variações nos parâmetros de QEE podem levar ao desligamento de motores críticos para a manutenção do funcionamento de toda a cadeia produtiva, levando, da mesma forma, ao desligamento não planejado da unidade.

O projeto da fábrica conta com dois sistemas de evacuação de emergência de cloro: um para o sistema que opera em vácuo e um outro para o sistema que opera sob pressão. Estes sistemas são automaticamente acionados quando os retificadores são desligados e são alimentados por um gerador de emergência para garantir funcionamento durante eventos de interrupção de fornecimento de energia. Qualquer falha na atuação desses sistemas, pode levar a um vazamento de cloro que pode afetar funcionários e outras unidades [11].

A unidade de coleta, compressão e distribuição de hidrogênio necessita ser completamente comissionada para remoção do hidrogênio, evitando misturas explosivas em linhas e equipamentos. Com esse objetivo, a fábrica tem purgas automáticas com nitrogênio para as séries e para todo o sistema, empurrando todo o hidrogênio para atmosfera. Falhas na atuação dessas linhas de defesa, podem levar a explosões no sistema de eletrólise e na distribuição de hidrogênio para consumidores [11].

É factível verificar que todas essas consequências contribuem para elevação dos custos operacionais e desperdício de matérias-primas e energia, conforme ilustra a Fig. 6.

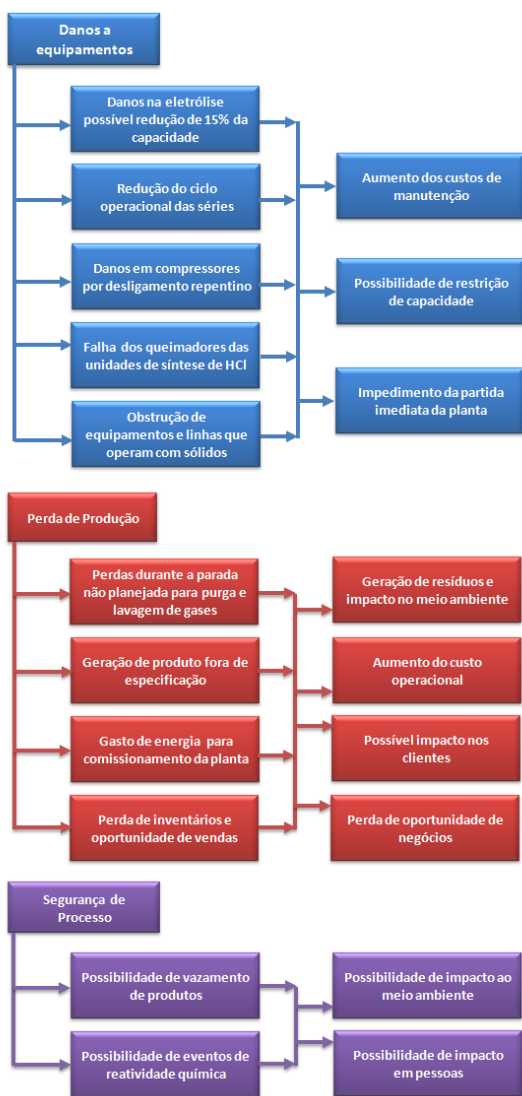


Figura 6. Diagrama de consequências para eventos em QEE em uma unidade de produção de cloro e soda cáustica [11].

V. CONCLUSÕES

Processos contínuos e eletro-intensivos são muito sensíveis aos distúrbios de falha na QEE e tem impactos significativos em toda cadeia produtiva. Em uma unidade de produção de cloro e soda cáustica, localizada na Bahia, foram levantados os impactos gerados no processo quando falhas na qualidade da energia levam à interrupção do fornecimento de energia elétrica para a eletrólise ou equipamentos e motores críticos para a continuidade da produção.

Os efeitos são bastante significativos quanto a perdas de produção e podem ser somadas em diversas etapas do processo produtivo: perdas por comissionamento da planta para garantir uma parada segura, tempo e energia utilizada para partir todos os sistemas auxiliares e equipamentos do processo e perdas associadas a geração de produtos fora de especificação.

Outros efeitos analisados demonstram um potencial impacto financeiro, ao meio ambiente e segurança das pessoas para os eventos de interrupção de fornecimento de energia elétrica. Estes eventos podem levar a emissão de gases tóxicos, cloro e ácido clorídrico, geração de efluentes para tratamento e podem causar danos a equipamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Salvador (UNIFACS) e à Dow Brasil S.A. pelo apoio disponibilizado no decorrer dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Martinho, "Distúrbios da Energia Elétrica", 3a edição, Editora Ética.
- [2] LUSVARGHI, S.A.S.; ARANGO, H.; BONATTO, B.D.; LIMA, J.W.M.; "A Compensação ao Consumidor pela Deficiência na Qualidade da Energia Elétrica e seus Impactos Econômicos", IX Conferência Brasileira sobre a Qualidade da Energia Elétrica (CBQEE 2011), Blumenau-SC, 31 de Julho a 3 Agosto de 2011.
- [3] Shih-An Yin, Chan-Nan Lu, E. Liu, Yu-Chang Huang and Chinug-Yi Huang, "A survey on high tech industry power quality requirements", *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES*, Atlanta, GA, 2001, pp. 548-553 vol.1.
- [4] R. El-Mahayni, T. J. Dionise and D. D. Shipp, "Power quality investigation, field measurements and harmonic analysis to improve production at a new chemical products facility", *Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), 2012 Record of Conference Papers Industry Applications Society 59th Annual IEEE*, Chicago, IL, 2012, pp. 1-9.
- [5] A. El Mofly and K. Youssef, "Industrial power quality problems", *Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIREN. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482)*, Amsterdam, 2001, pp. 5 pp. vol.2.
- [6] Xiang-ning Xiao, Xiao-chen Zhen, Shun Tao and Lin Liu, "The Evaluation on Costs of Power Disturbance Events to End-users", *IEEE* 2012.
- [7] C. Patrão, J. Delgado, A. T. De Almeida, P. Fonseca, "Power Quality Costs Estimation in Portuguese Industry", *IEEE* 2011.
- [8] S. C. Vegunta, J. V. Milanovic, "Financial Impact of Power Quality on Indian Pharmaceutical Industry-Survey Results", *20th International Conference on Electricity Distribution, Paper 0806*, June 2009.
- [9] M. I. Muhamad, N. Mariun, M. A. M. Radzi, "The Effects of Power Quality to the Industries", *The 5th Student Conference on Research and Development- SCORed 2007*, December 2007.
- [10] K. W. Carrick, "Minimizing the Effects of Voltage Disturbances on Continuous Industrial Process" *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol.32, no 6, Nov/Dec 1996.
- [11] Manual de Tecnologia da Planta de Cloro e Soda Cáustica, Dow Brasil SA, Unidade de Aratu
- [12] The Chlorine Institute, INC, Pamphlet 1, Chlorine Basics IEEE, edition 7, Oct, 2008.
- [13] Relatório Anual 2015, ABICLOR, Indústria Brasileira de Alcális, Cloro e Derivados.
- [14] Acompanhamento do Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC Leitura de 15/12/04. <http://www.ons.org.br/download/operacao/sep/erac/erac.pdf> Acesso em 08/12/15.
- [15] Manual de Tecnologia dos Retificadores, Dow Brasil SA, Unidade de Aratu
- [16] Registros de produção e eventos não planejados da Planta de Cloro e Soda Cáustica, Dow Brasil SA, Unidade de Aratu.