

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/0308

Análise e Melhoria do Controle
Automático de Concentração de
uma Planta de Ácido Nítrico Diluído

Elcio Rodrigues Aranha
Cícero Couto de Moraes

São Paulo – 2003

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Elcio Rodrigues Aranha, sob orientação do Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes: "Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nítrico Diluído", defendida em 27/02/2003, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Aranha, Elcio Rodrigues

Análise e melhoria do controle automático de concentração de uma planta de ácido nítrico diluído / E.R. Aranha, C.C. de Moraes.
– São Paulo : EPUSP, 2003.

19 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, BT/PEA/0308)

1. Controle de processos 2. Microprocessadores (Uso) 3. Controle automático I. Moraes, Cícero Couto de II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

CDD 003.5
004.16
629.8

Análise e melhoria do controle automático de concentração de uma planta de ácido nítrico diluído.

**Elcio Rodrigues Aranha
Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes**

Resumo

Uma unidade produtora de ácido nítrico diluído é analisada nesta dissertação através do "software" ARENA®, da Systems Modeling Corp. Através da simulação do processo é apresentada a implementação de uma malha de controle automático de concentração de produto final com o propósito de maximizar a disponibilidade de produto especificado para venda.

São propostas alterações na instrumentação da planta a fim de conseguir vantagens e facilidades que a instrumentação pneumática e eletrônica convencionais não oferecem. O uso de microprocessadores na instrumentação de campo permite implantar detalhadas estratégias de controle, utilização de parâmetros e monitoração remota de uma forma muito mais simples que a disponível nos instrumentos mais antigos. Estas alterações permitem uma variação de faturamento de tal monta que o investimento aplicado na automação terá seu retorno em poucos meses.

Palavras chave: Controle de processo, Controle de concentração, Aplicação de condutivímetro, Simulação de planta produtora de ácido nítrico, Software ARENA®.

1. Apresentação

Os controles automáticos de processo petroquímicos tiveram uma concepção inalterada ou até mesmo pouco modernizada ao longo dos últimos anos [1]. Haja vista que o início da implantação de indústrias petroquímicas no Brasil data da década de 50 e ainda encontramos plantas produtivas utilizando tão somente os recursos de controle disponíveis à época de sua implantação. Há casos em que, apesar das malhas de controle terem sido modernizadas, pouco se fez no intuito de flexibilizar a produção ou até mesmo monitorar todas as variáveis. Com a premissa de que a boa prática de um projeto de instrumentação é vinculada à existência de um instrumento confiável [2], no passado as dificuldades tecnológicas com certos tipos de transdutores praticamente descartavam certas sofisticções das malhas de controle.

A difusão da instrumentação moderna e a sofisticação de instrumentos como espectrofotômetros, cromatógrafos, colorímetros, etc., permitem hoje que métodos físicos meçam concentrações químicas [3, 4] e isto passa a fomentar e sustentar a modernização das malhas de controle.

Este trabalho trata exatamente da necessidade de se re-estudar tais malhas de controle de processos e para isto utiliza como exemplo a Unidade de Ácido Nítrico Diluído do Complexo Industrial de Cubatão da Ultrafertil S/A – UNAN, com base na produção de NO a partir da oxidação de amônia a baixa pressão. A planta projetada pela Grande Paroisse Chemical Society com instrumentação totalmente pneumática constituirá base para um estudo de implantação de novos transdutores que visam melhorar o controle de retirada de ácido nítrico diluído, no caso o produto final da unidade.

Como recursos, este trabalho utiliza ferramentas de simulação de processos, no caso o "software" ARENA®, da Systems Modeling Corp., e monitora o comportamento (performance) na própria planta química.

2. Descrição do processo

2.1 Dados gerais

O ácido nítrico é conhecido desde o século XVIII. Uma das primeiras formas de se produzir este ácido em larga escala foi através da dupla decomposição do nitrato de sódio obtido a partir do salitre do Chile e ácido sulfúrico [5]. A equação (2.1) representa esta reação.



Equação 2.1 - Representa a produção de ácido nítrico a partir do nitrato de sódio.

Mais tarde, o ácido nítrico passou a ser obtido a partir do ar úmido e de um arco elétrico. A equação (2.2) representa este tipo de produção de ácido nítrico.



Equação 2.2 - Representa a oxidação do nitrogênio a partir de ar úmido e energia elétrica.

A conversão do NO a HNO_3 era realizada a partir da oxidação do NO a NO_2 e da absorção deste em água, formando o HNO_3 . Atualmente esta etapa continua sendo utilizada por quase todos os processos produtivos modernos de ácido nítrico. Desta forma, mais à frente este processo será explicado detalhadamente.

Atualmente o ácido nítrico é obtido a partir de NH_3 , O_2 e H_2O . O NO é obtido a partir da oxidação da amônia com o ar atmosférico na presença de um catalisador confeccionado com ligas de platina e ródio na forma de uma fina e delicada tela. A oxidação de amônia ocorre entre 800 e 950 °C e a pressão de operação pode ser estabelecida desde poucas gramas de vácuo a até 8 kgf/cm². Os demais processos citados de produção de ácido nítrico, atualmente, não são considerados economicamente viáveis para produções em alta escala [6].

De uma forma global, a obtenção de ácido nítrico, a partir da amônia e do ar atmosférico, pode ser representada pela equação (2.3).



Equação 2.3 - Representa a equação global de obtenção de ácido nítrico a partir da amônia.

Os processos comerciais modernos podem ser classificados conforme as pressões utilizadas e desta forma, podemos encontrar processos “mono-pressão” e de “pressão-dual”, conforme as pressões dos estágios de conversão e absorção [5].

Os tipos de plantas modernas de ácido nítrico mais comumente encontrados são:

- plantas de processo “mono-pressão” que utilizam pressão média de 3 a 5 atm através de toda a planta;
- plantas de processo “mono-pressão” que operam com pressões mais elevadas, na ordem de 8 a 13 atm, e
- plantas de processo “pressão-dual” utilizando pressão média no conversor e alta pressão na torre de absorção [7, 8].

Os principais produtores de ácido nítrico no Brasil possuem uma capacidade instalada de 506.050ton/ano, estando as plantas situadas na Bahia, Petrobrás-FAFEN com 40.150ton/ano e em São Paulo, Rhodia (atual Rhodia Poliamida) com 60.000ton/ano e a Ultrafertil com 405.900ton/ano.

A produção e vendas declaradas de ácido nítrico no Brasil em 1999 foram de 525.011ton/ano (produção), sendo 99,6% comercializado internamente e o restante, aproximadamente 0,4%, foi exportado. Para o mercado nacional, o ácido foi distribuído na proporção de 77,4% para fertilizantes e 22,6% para processo químico [9].

2.2 Características da Unidade em estudo

A Unidade Nova de Ácido Nítrico do Complexo de Cubatão da Ultrafertil S/A, UNAN, tem por objetivo a produção de ácido nítrico a 53% em peso (120 ton/dia _{base 100%}) e a 61% em peso (150 ton/dia _{base 100%}) a partir da oxidação da amônia e da absorção dos gases nitrosos pela água de processo [10].

O processo de fabricação do ácido nítrico utilizado pela UNAN é de oxidação de amônia a baixa pressão, absorção dos óxidos nitrosos a média pressão e desgaseificação a baixa pressão, do seguinte modo:

- A um nível de pressão de 1 a 5 kgf/cm², ocorrem principalmente a oxidação de amônia, oxidação de NO e a desgaseificação do ácido.
- A um nível de pressão de 5 a 13 kgf/cm², ocorre principalmente a oxidação e absorção dos gases nitrosos.

2.3 Etapas principais da produção

2.3.1. Oxidação da amônia

Nesta fase ocorre a combustão parcial da mistura (ar atmosférico e amônia) que é introduzida nos reatores, os quais são providos de um catalisador. A atividade do catalisador, temperatura de operação e velocidade de passagem do gás através do leito catalítico propiciam a oxidação da amônia [11].

O catalisador é constituído por uma fina tela de ligas de platina-ródio. Atualmente, diversas pesquisas para desenvolvimento de novas formas construtivas das telas catalíticas tentam identificar a possibilidade de uma menor perda do metal base do catalisador, aumento da vida útil e conseqüente minimização dos custos produtivos.

Os parâmetros, geometria da tela, diâmetro do fio, número de telas sobrepostas, composição do metal base, etc., estão intimamente relacionados às características de pressão e temperatura de processo da planta. Desta forma, a partir de um estudo detalhado e testes de performance, pode-se identificar a melhor especificação construtiva para o leito catalítico [12, 13, 14].

A equação 2.4 representa a reação de oxidação da amônia na presença do leito catalítico.



Equação 2.4 - Representa a reação de oxidação da amônia.

O NO é obtido através da reação representada pela equação 2.4, efetuada entre 810°C e 860°C. De acordo com as condições do catalisador, poderão ocorrer reações secundárias, reduzindo a formação de NO e propiciando a decomposição da amônia. Podemos representar a decomposição da amônia excessivamente aquecida e na presença de materiais catalisadores como:



Equação 2.5 - Representa a decomposição da amônia.

Outras reações de perdas seriam a decomposição do NO, que está representada pela equação 2.6, e a oxidação total da amônia, representada pela equação 2.7. Um incremento da temperatura nas telas (superaquecidas) e um longo tempo de contato favorecem a decomposição do NO e a oxidação total da amônia.



Equação 2.6 - Representa a decomposição do NO.



Equação 2.7 - Representa a oxidação completa da amônia.



Equação 2.8 - Representa a combinação das equações 2.6 e 2.7.

Desta forma, para que o rendimento da oxidação da amônia no leito catalítico seja máximo, diversas variáveis devem ser controladas:

- temperatura;
- pressão;
- velocidade de passagem do gás pelo catalisador;
- espessura do leito catalítico, e
- razão entre a amônia e o oxigênio.

2.3.2. Oxidação do NO

Os óxidos principais do nitrogênio são:

- NO, monóxido de nitrogênio;
- NO₂, dióxido de nitrogênio;
- N₂O₃, trióxido de dinitrogênio;
- N₂O₄, tetróxido de dinitrogênio;
- N₂O, monóxido de dinitrogênio;
- N₂O₅, pentóxido de dinitrogênio.

O NO, formado pela reação de oxidação da amônia, representada pela equação 2.4, não reage com a água a fim de formar o ácido nítrico. O processo produtivo deverá propiciar uma reação intermediária: a reação de oxidação do NO, representada pela equação 2.9. Esta reação é favorecida pela diminuição da temperatura e aumento da pressão [6]. O NO₂ e a H₂O, conforme representado na equação 2.14 geram o ácido nítrico. As reações intermediárias são representadas pelas equações 2.10, 2.11 e 2.13, que descrevem de forma mais detalhada a etapa de absorção.

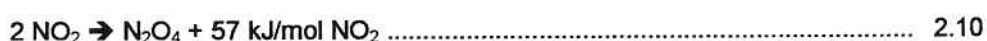
A oxidação de NO pode ser representada por:



Equação 2.9 - Representa a oxidação do NO

A oxidação do NO por O₂ é uma reação com ordem 3 nos reagentes, não catalítica. Esta é uma reação trimolecular, lenta, cujo equilíbrio pode ser revertido em temperatura moderadamente alta [15]. Ela começa quando os gases se resfriam abaixo de 500°C e fica mais rápida com a queda de temperatura e aumento de pressão [6].

A dimerização do NO₂ em N₂O₄ é espontânea e pode ser representada conforme a equação 2.10;



Equação 2.10 - Representa a dimerização do NO₂ em N₂O₄.

O número ímpar de elétrons de valência no NO₂ favorece a dimerização de suas moléculas [6]. Para favorecer as reações representadas nas equações 2.9 e 2.10 e prevenir a dissociação do NO, conforme representado na equação 2.6, os gases saindo dos reatores são resfriados o mais rapidamente possível.

2.3.3. Oxidação e absorção de gases nitrosos a alta pressão

O ácido nítrico é obtido pela absorção e reação de gases nitrosos em água; no caso da UNAN, em colunas equipadas com bandejas perfuradas, onde os gases fluem em contracorrente com água. Estas bandejas possuem serpentinas de resfriamento, pois a oxidação do NO é favorecida tanto pelo aumento de pressão como pelo resfriamento do líquido.

Podemos representar as reações no interior das torres de absorção como:



Equação 2.11 - Representa a formação de ácido nítrico e nitroso a partir do NO₂ e água.



Equação 2.12 - Representa a formação de ácido nítrico e nitroso a partir do N_2O_4 e água.



Equação 2.13 - Representa a formação de ácido nítrico a partir do ácido nitroso.

A representação global da formação de ácido nítrico, através da combinação das equações 2.11 e 2.13, resulta na equação 2.14. O mesmo pode ser dito na representação da equação 2.15 com relação às equações 2.12 e 2.13.



Equação 2.14 - Representa a formação de ácido nítrico a partir do NO_2



Equação 2.15 - Representa a formação de ácido nítrico a partir do N_2O_4

O NO encontrado nos gases nitrosos é novamente oxidado entre cada bandeja para formar o NO_2 e N_2O_4 . Estes reagem com o líquido da bandeja seguinte formando ácido nítrico e NO.

A reação do NO a NO_2 no gás em equilíbrio libera calor, equação (2.9). A absorção do NO_2 e do N_2O_4 em água, conforme representado nas equações 2.14 e 2.15, diminui quando a temperatura aumenta. Assim a presença das serpentinas de refrigeração das bandejas das torres de absorção tem sua função justificada.

As reações representadas pelas equações 2.11 e 2.12 são favorecidas quando o ambiente está a baixas temperaturas e o contato entre as fases líquidas (absorvente) e gasosa (absorvida) é estimulado [5]. Assim as pressões altas e temperaturas baixas são favoráveis tanto à oxidação do NO a NO_2 como à formação do ácido nítrico [16].

A coluna de absorção, portanto, deve operar a alta pressão e à temperatura mais baixa possível, de maneira a obter a máxima razão de oxidação e uma melhor absorção.

2.3.4. Desgaseificação do ácido

O ácido produzido contém considerável quantidade de gases nitrosos dissolvidos. A presença de NO_2 dissolvido dá ao ácido uma cor castanha. Para deixar o produto final incolor, o ácido é tratado em uma contracorrente de ar quente em uma coluna recheada, com três bandejas perfuradas, a fim de aumentar o contato entre estes dois fluidos. A passagem de ar em contracorrente é chamado de "stripping", esta ação retira os gases nitrosos e descolora o ácido. Os óxidos de nitrogênio em contato com o ar saem da torre de desgaseificação e são novamente introduzidos no circuito de gás nitroso na coluna de absorção para aproveitá-lo.

2.4. Instrumentação

A concepção de projeto da Grande Paroisse Chemical, para a UNAN, é de uma instrumentação totalmente pneumática. Assim pode-se identificar possibilidades de sofisticação da malha de controle da oxidação amônia/ar bem como flexibilizar através da automação industrial as retiradas de ácido nítrico diluído.

Na malha de oxidação amônia/ar o controle de razão era feito a partir da medição e controle de fluxo de forma apenas volumétrica. Ao longo dos anos, algumas modificações foram introduzidas de acordo com a disponibilização de novas tecnologias, evolução de equipamentos de controle automático e oferta de instrumentos eletrônicos. Tudo isto propiciou que fosse inserida a compensação de pressão e temperatura para os fluxos tanto de ar como de amônia e a substituição de diversos computadores pneumáticos por um controlador digital microprocessado.

Para a retirada de ácido nítrico diluído, as operações de correção de concentração são manuais deixando, às vezes, que o produto final fique aquém da faixa mais rentável.

Uma vez que a oferta de transdutores para análise de líquidos que permitam mensurar a concentração de ácido nítrico de forma confiável é recente, podemos implementar um controle de concentração para os produtos finais da referida planta e desta forma procurar maximizar os lucros aumentando a disponibilidade de ácido nítrico diluído para venda.

2.5 Etapas produtivas da UNAN

2.5.1 Preparação da mistura ar/amônia

A amônia líquida proveniente da tancagem, sob pressão de 12 kgf/cm^2 em temperatura ambiente, é alimentada no evaporador de amônia, E631. O nível de amônia é mantido próximo a 50% do valor máximo e a variável de controle é a pressão de amônia. Se esta pressão aumentar, uma válvula diminui a entrada de água de refrigeração e vice-versa. Como a amônia é evaporada, todas as impurezas vão se concentrando na porção líquida deste equipamento, assim antes de descartar estas impurezas, esta mistura é aquecida com vapor (E632), a fim de se liberar por evaporação os últimos resíduos de amônia.

Tanto a amônia evaporada no E631 (1º trocador de calor) como a recuperada no E632 (2º trocador de calor) é aquecida até 60°C no superaquecedor de amônia, E633. A partir daí, ela é então expandida até cerca de 2 kgf/cm^2 , e seu fluxo regulado por uma válvula controladora.

Antes de a amônia ser admitida no misturador, MX631, é filtrada no F632 (filtro de amônia) para eliminar as impurezas, óxido de ferro e outras partículas sólidas que envenenariam o catalisador dos reatores R631A e R631B.

O ar é aspirado pelo compressor C632 através do filtro F631 e no compressor o ar é comprimido a $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ e aquecido ao passar pelo pré-aquecedor de ar, E634.

O controle de razão amônia/ar é feito em torno de 11% do volume de amônia em relação ao do ar. Neste controle o ar atmosférico entra como variável manipulada e a amônia como variável controlada, ou seja, a quantidade de amônia a ser misturada é tal que se mantenha a proporção estabelecida. Esta razão deve ser bem controlada, já que um valor de 13% desencadeia uma parada de segurança do processo, pois a mistura passa a ser explosiva, nas condições do processo, quando a razão é superior a 15%.

Com as vazões controladas para se obter a razão desejada, ambas as correntes são mandadas para o MX631, misturador de amônia com ar.

2.5.2 Oxidação da amônia

A mistura amônia/ar efluente do misturador MX631 entra na parte superior dos reatores R631A e R631B. Esta mistura passa por uma placa difusora e reage ao entrar em contato com as telas de platina-ródio (catalisador). Na aplicação da UNAN, utilizamos três telas em cada reator com uma composição por volta de 95% de platina e 5% de ródio.

2.5.3 Recuperação de calor de reação

A reação de oxidação de NO por O_2 a NO_2 , representada pela equação 2.9, é favorecida pela diminuição progressiva da temperatura dos gases. Como a temperatura da reação chega a aproximadamente 860°C nos R631A e R631B, o calor desprendido na reação de oxidação de amônia é assim recuperado através das serpentinas dos trocadores de calor, E636A e E636B,

localizadas logo abaixo do reator, deixando os gases a uma temperatura abaixo de 500 °C.

O sistema de geração de vapor por estas serpentinas é obtido através de um sistema de circulação forçada. As bombas P631A, P631B e P631C asseguram essa circulação entre o V631, separador de vapor, e as serpentinas dos E636A e E636B, recuperadores de calor da reação.

O nível do V631 é reposto pelo V769, desaerador, via P767A e P767B, bombas de alimentação de água.

2.5.4 Oxidação de NO

A oxidação do monóxido a dióxido de nitrogênio é favorecida pela diminuição progressiva da temperatura (pois esta reação é reversivamente exotérmica). Ela se inicia nos trocadores de calor, E636A e E636B, e prossegue nos E637 e E638, trocadores de calor. Os gases efluentes do trocador de calor, E638, têm sua parte líquida separadas no vaso, V633. No trocador de calor, E638, devido à redução de temperatura, temos condensação de água e esta ao entrar em contato com o NO_2 gera um condensado de ácido nítrico de aproximadamente 5%.

A porção gasosa é succionada pelo C631 juntamente com os gases nitrosos provenientes das torres de degaseificação do ácido nítrico, T733A e T733B, o condensado ácido é bombeado pelas bombas, P632A e P632B para a torre de absorção, T732 ou T731.

Após o vaso, V633, os gases isentos da porção líquida são comprimidos e enviados para o trocador de calor, E639, os gases nitrosos passam pelo último trocador de calor antes de entrar nas torres de absorção, o E734. Neste equipamento há condensação e desta forma formação de ácido nítrico com cerca de 54% que é recalcado para o fundo da torre T731, juntamente com os gases nitrosos.

2.5.5 Produção de ácido nítrico

A seção de absorção de NO_2 é composta por duas torres, a T731 e a T732, dispostas em série. Os gases nitrosos injetados na base da torre de absorção T731 são lavados em contracorrente ao subir pelas 23 bandejas perfuradas da coluna. Durante este processo, ocorre a absorção do NO_2 e do N_2O_4 , reações representadas nas equações 2.14 e 2.15. O ácido nitroso proveniente da reação expressa pela equação 2.15 transforma-se em ácido nítrico conforme representado pela equação 2.13. O NO resultante das reações representadas pelas equações 2.13 e 2.14 são oxidados a NO_2 pelo oxigênio fornecido via alimentação de ar secundário. Este NO_2 gera um novo ciclo, conforme descrito aqui, este ciclo se repetirá até que os gases, no final do processo, sejam lançados à atmosfera em níveis inferiores aos permitidos pela legislação vigente.

Os gases do topo da torre T731 são introduzidos na base da torre de absorção T732 e, do fundo até o topo, borbulham no líquido de mais 12 bandejas perfuradas.

Enquanto cruza estas 35 bandejas, o gás nitroso em contato com a água gera ácido nítrico com concentrações diferenciadas entre cada uma das bandejas. Como a reação de absorção é exotérmica, as bandejas possuem serpentinas de refrigeração para manter a temperatura interna da torre o mais próximo possível da temperatura ambiente. Desta forma, maximizando tanto a absorção do NO_2 em H_2O como a oxidação do NO a NO_2 . A parte gasosa não absorvida na água é enviada para o sistema de controle ambiental a fim de se tornar viável sua liberação à atmosfera conforme autorizado pela legislação. O ácido resultante é então retirado conforme concentração e volume programado pelo controle de produção para a tancagem de armazenagem e expedição. A água de reposição da torre T732 é conseguida via bombas de alimentação de água P733A, P733B e do condensado ácido recuperados no vaso V633 e bombeados pelas bombas P632A e P632B. Para a torre T731 a reposição é feita a partir do acúmulo de água no fundo da torre T732.

3. Análise em macro blocos

Os processos químicos podem ser considerados como diversas pequenas unidades interligadas numa rede. Essa rede de unidades interligadas pode ser fracionada em blocos. Utilizando a lógica de diagrama de blocos podemos associá-los e ordená-los de acordo com a conservação de energia, de material ou de ambos. A fim de se tornar viável a sequência de aproximação para a simulação,

diagramas com realimentação devem ser isolados, suas simulações parametrizadas, ajustando o modelo e só então utilizar as realimentações como variáveis dinâmicas do próprio modelo [17].

Desta forma, a idéia de se analisar em macro blocos o processo industrial de fabricação de ácido nítrico por oxidação de amônia e absorção de gases nitrosos em água, tem como finalidade simplificar os problemas de dimensionamento de fluxo. Ajustando-se o modelo conforme as condições atuais do processo, podemos estabelecer os gargalos reais da planta e evitar que uma má interpretação possa desviar os resultados do estudo [18].

Dentre as técnicas disponíveis para a modelagem de sistemas, quais sejam:

- teoria das filas, e
- simulação.

optamos pela última, pois nos permitirá, com maior facilidade, avaliar o funcionamento do sistema real [19].

Assim cada um dos macro blocos será referenciado como fração e, entre as diversas frações os fluxos serão expressos em mol/h. Foi levantado, conforme o projeto da unidade, os parâmetros e características dos fluxos de cada um dos elementos do processo químico em questão. Tais informações foram fundamentais para parametrização do ARENA®, pois as regras de simulação devem ser criadas conforme os parâmetros operacionais e consolidadas através de resultados das simulações junto aos valores conhecidos do processo produtivo.

4. Detalhamento dos blocos com as ferramentas ARENA®

Atualmente a simulação de processos implantada através de “softwares” específicos fez com que esta técnica fosse largamente difundida e utilizada no mundo moderno para análise de sistemas complexos [19].

A simulação dinâmica de processos foi iniciada por volta de 1960. O desenvolvimento rápido tanto do “software” como do “hardware” capacitaram a implementação destas técnicas de análise de processos. Atualmente, as modernas técnicas de computação e o aumento do poder de processamento do “hardware” permitem a utilização para as mais diferentes aplicações e operacionalização de usuários com pouca experiência [15, 20, 21].

Na década de 70, os programas de simulação para a indústria química começaram a ser comercializados e na década de 80 estes programas passaram a ser desenvolvidos em linguagens suportadas por microcomputadores. Assim, em 1995, já era possível adquirir programas que simulavam tanto regime permanente (“steady-state”) como regime transitório (“dynamic process”). [22].

Uma análise do processo produtivo pode ser elaborada através de um programa de simulação. Tanto o modo empírico como o utilizado em um “software” específico possui pontos fortes e fracos. Quando se necessita verificar a performance do processo em diferentes patamares de produção, pode-se utilizar diferentes meios para se alcançar o objetivo [23]. A análise do processo pode ser executada através de uma variedade de ferramentas automatizadas, semi-automatizadas ou simplesmente manuais. A questão que fica é: onde você está e até aonde você deseja chegar? Caso a resposta seja redesenhar, modelar, simular o processo em diversas situações por várias vezes, a resposta é a utilização de um programa de simulação. Se a resposta for verificar o resultado e refinar teorias já conhecidas para seu processo, o modelo empírico é viável tanto para condições conhecidas de processo como para as que serão propostas [24].

Ao usar um programa de computador para simulação é necessário descrever no simulador as condições e regras tanto para a geração de entidades bem como suas relações de transformações. Para tanto é necessário elaborar um fluxo lógico das entidades e, após isto, (é necessário) criar as regras que controlarão as quantidades de cada entidade tanto nas reações como nos equipamentos.

Os programas de simulação podem ser desenvolvidos a partir de pelo menos dois tipos diferentes de tecnologias de simulação, a KBS, simulação baseada no conhecimento (“knowledge-based simulation”) e a DES, simulação de eventos discretos (“discrete-event simulation”). Os “softwares”

baseados na KBS permitem que a simulação disponibilize com profundidade detalhes específicos de baixa frequência no modelo estudado, já os “softwares” baseados no DES, permitem que a simulação enfoque detalhes, instantes e situações de alta frequência e pequeno tempo de duração com relação ao ciclo total de processo, partidas e paradas operacionais, condições operacionais de verão e inverno, expansão de produção e eventos de emergências [25, 26].

A simulação correta de um processo industrial permite que sejam, através do modelo e das simulações, aferidos os resultados e índices de desempenho, demonstrando assim os benefícios que podem ser obtidos com a permissibilidade da performance de diversas configurações sistêmicas [27].

A modelagem de processos, reengenharia, integração das bases de dados e informações, gerenciamento baseado no conhecimento de melhores práticas são de uma forma genérica as metas das organizações que procuram na tecnologia da informação o caminho para manter seus processos produtivos, diminuição dos custos e aumento da produção. As organizações, dos mais diferentes ramos, através da aplicação da tecnologia da informação têm procurado estabilizar, sustentar e expandir sua presença nos mais diferentes mercados. Para atingir estes objetivos as empresas passam a recrutar, dos mais diferentes setores de sua organização, diversos funcionários a fim de identificar neste grupo heterogêneo possíveis destaques para sustentar suas metas de tecnologia de informação [28].

Nos próximos tópicos estaremos descrevendo o modelo básico para cada célula fundamental do modelo analisado.

4.1 Protótipo para simulação: Geração de entidades – Célula 1

Nesta célula, o objetivo é suprir o modelo de uma quantidade definida de entidades em função do tempo; assim, em primeira análise, os estudos são feitos em mol/h. Para facilitar a precisão do modelo, os fluxos foram acrescidos em 1000%, o que levou à percepção do detalhe para um décimo da realidade da planta.

Cada simulação tem como base 10.000 unidades, e nesta proporção os fluxos foram alocados no tempo conforme representado nos exemplos 1 e 2.

Exemplo 1 – Geração de N_2 para o ar primário
(Base para simulação 993,7 mol/h)

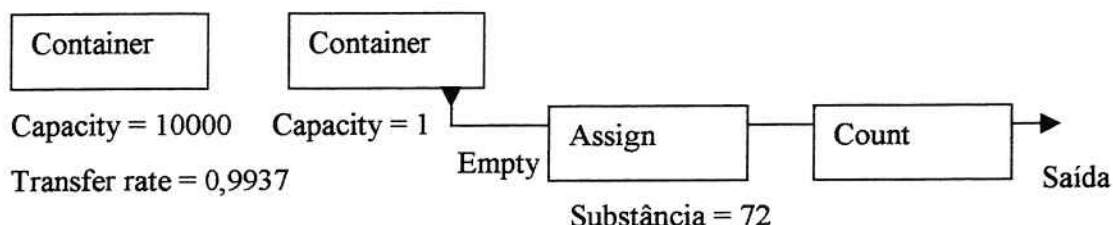


Figura 4.1 – Protótipo de simulador: Fluxo de N_2

Exemplo 2 – Geração de O_2 para o ar primário
(Base para simulação 262,3 mol/h)

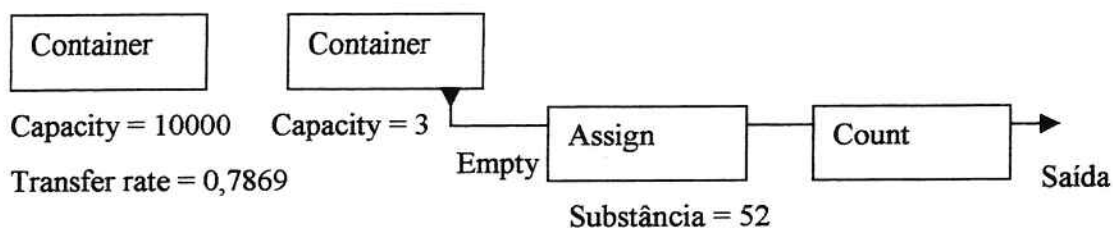


Figura 4.2 – Protótipo de simulador: Fluxo de O_2

4.2 Protótipo para simulação: Oxidação de Amônia – Célula 2

A combustão da mistura amônia/ar, oxidação de amônia, introduzida nos reatores, representada pela equação 2.4 foi modelada no ARENA[®] conforme a representado na figura 4.3.

4.3 Protótipo para simulação: Oxidação de NO – Célula 3

O NO formado pela reação de oxidação de amônia/ar não reage com a água e deverá assim ser oxidado a NO₂ para poder ser absorvido pela água. Esta oxidação pode ser representada pela equação 2.9, o modelo implementado no ARENA[®] é representado pela figura 4.4.

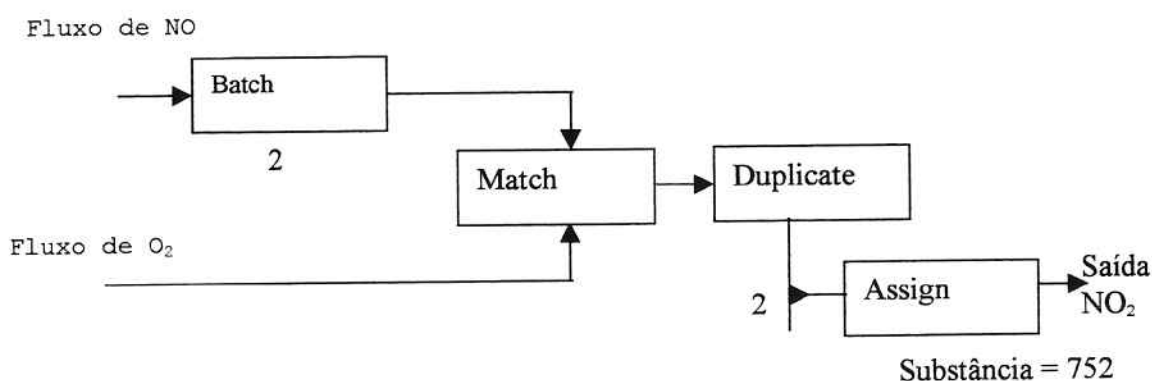


Figura 4.3 – Protótipo de simulador: Oxidação de amônia

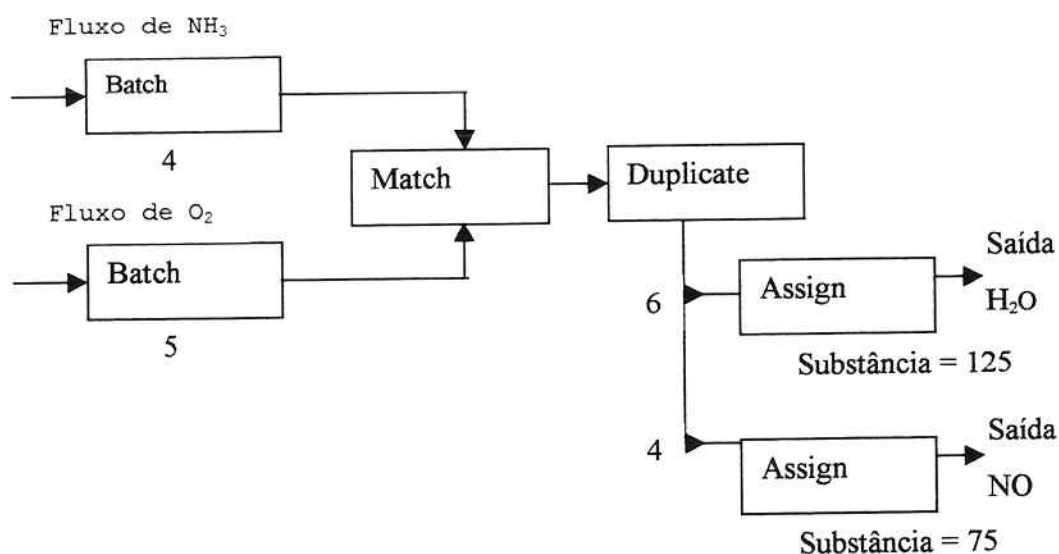


Figura 4.4 – Protótipo de simulador para oxidação do NO

4.4 Protótipo para simulação: Analisador de Substâncias – Célula 4

Para facilitar a análise do modelo entre suas frações bem como dividir os diversos fluxos de substâncias, foi inserido uma célula denominada como analisador de substâncias, representado pela figura 4.5. A função desta é fracionar as substâncias por suas características e totalizar o valor destas porções de fluxo a fim de permitir o acompanhamento da performance do modelo ao longo de cada fração.

Fluxo total

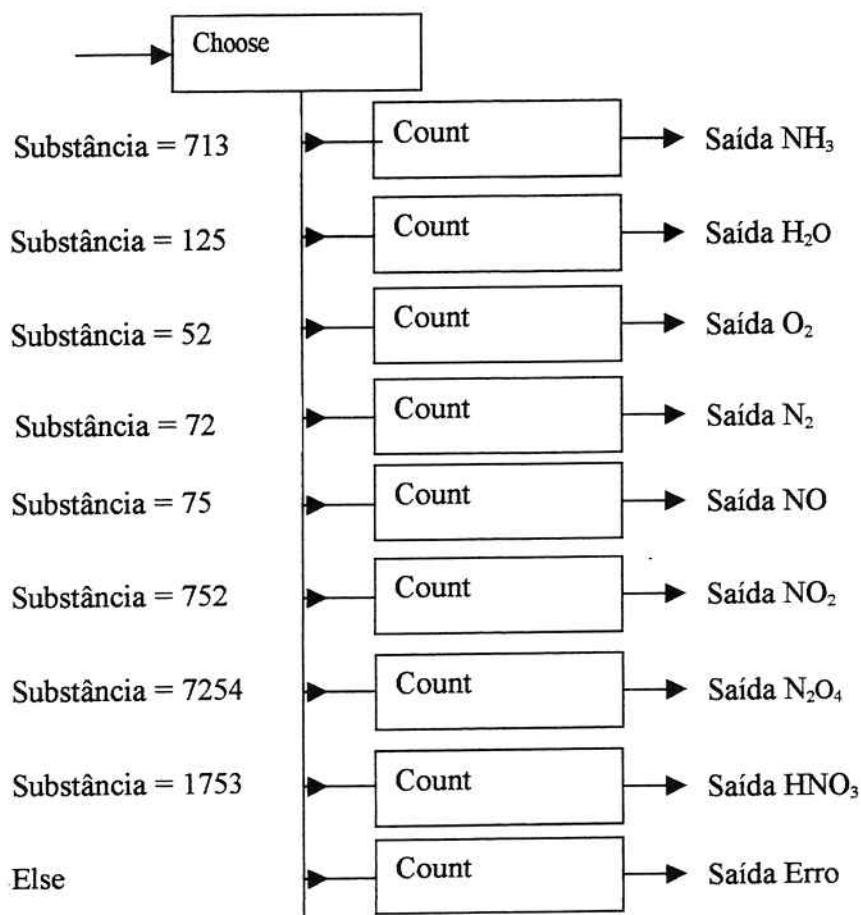
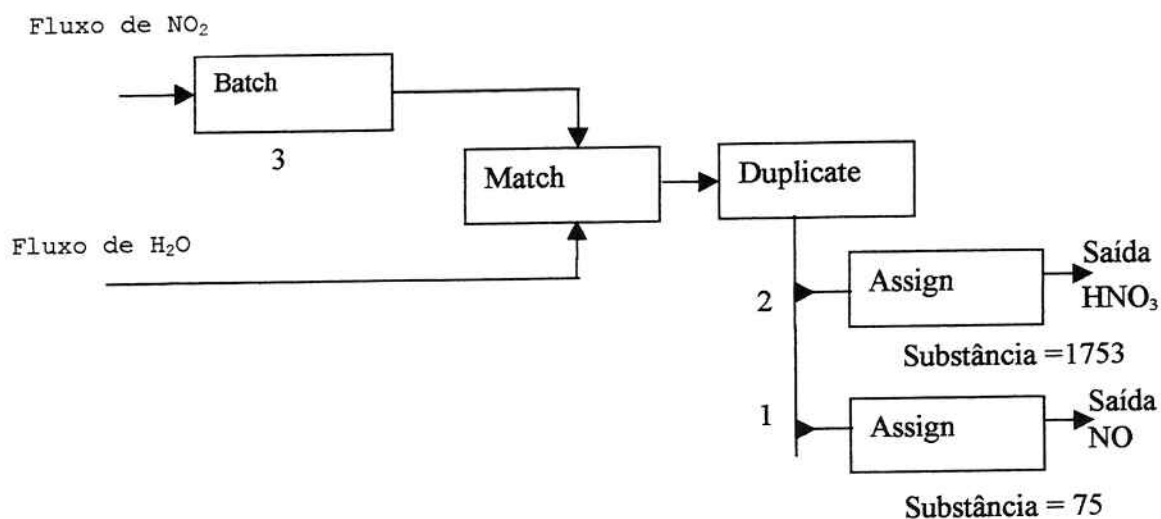


Figura 4.5 – Protótipo de simulador: Analisador de substâncias

4.5 Protótipo para simulação: Absorção de NO_2 para HNO_3 – Célula 5

O ácido nítrico é obtido pela absorção e reação de gases nitrosos em água. A reação que utilizamos para simulação está representada pela equação 2.14. O NO formado nos gases nitrosos é novamente oxidado para formar o NO_2 que voltará a reagir com a água, reiniciando este ciclo. Assim, temos a célula:

Figura 4.6 – Protótipo de simulador: Absorção de NO_2

4.6 Protótipo para simulação: Dimerização de NO_2 para N_2O_4 – Célula 6

O NO_2 é estável em temperaturas abaixo de 200°C e produz o dímero N_2O_4 quase instantaneamente em temperaturas abaixo de 100°C . A dimerização do NO_2 a N_2O_4 é representada pela equação 2.10.

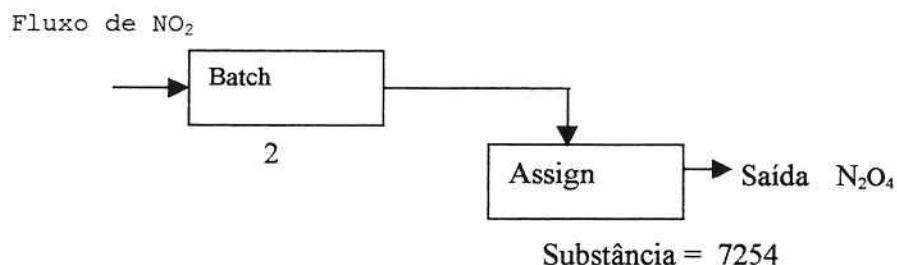


Figura 4.7 – Protótipo de simulador: Dimerização do NO_2 a N_2O_4

4.7 Diagrama de blocos completo do sistema

Para podermos implementar a simulação da Unidade Nova de Ácido Nítrico – UNAN com o ARENA® foi necessário implementarmos vinte e dois blocos e em cada um destes diversas funções. Nos tópicos 4.1 a 4.6 procuramos apresentar as principais características de cada um dos vinte e dois blocos e comentar as configurações utilizadas para cada porção significativa do processo.

5. Análise do processo

5.1 Avaliação dos gargalos e limites produtivos

O NO é obtido na reação de combustão de amônia, equação 2.4, e esta se dá entre 810°C e 860°C . O NO torna-se instável a esta temperatura e podem ocorrer simultaneamente outras reações dentro do reator, como por exemplo, a própria decomposição da amônia, uma vez que esta estaria aquecida e na presença de catalisadores. Ainda como efeito do superaquecimento do reator associado a um maior tempo de contato do NO a esta temperatura poderíamos ter tanto a decomposição do NO, como a oxidação completa da NH_3 .

Note que estas reações liberam calor, e assim, quanto maior a liberação de calor, mais intensa é a reação secundária.

A liberação de calor está relacionada à razão amônia/ar, pois como em qualquer queima, a relação combustível (NH_3) e comburente (O_2 do ar) interfere nas características da combustão. Para este processo em particular é necessária a queima parcial de amônia, mas como se necessita manter o oxigênio em excesso, é possível uma ineficiência nesta etapa do processo.

Outro fator limitante poderá ser a eficiência do catalisador, bem como a sua vida útil. As telas catalisadoras de platina/ródio, que são utilizadas no processo de oxidação de amônia anidra para a produção de ácido nítrico, têm sua vida útil relacionada com a temperatura de processo a que estão submetidas [7]. Evidentemente que, alterando-se as proporções de platina/ródio, pode-se encontrar uma relação conveniente de oxidação da amônia, custo de operação e temperatura de processo.

5.2 Controle de concentração

Os computadores e os microprocessadores alavancaram profundas modificações nos sistemas de controle de processo das plantas produtivas dos parques industriais de todo o mundo [29]. Os

microprocessadores podem gerar rápidas respostas para as equações diferenciais dos mais diferentes sistemas de controle de processo e permitir vantagens e facilidades que a instrumentação pneumática e eletrônica convencional não possuem [30, 31].

Os preços dos sistemas microprocessados tiveram uma grande redução, permitindo que grandes blocos de informação possam ser coletados do processo produtivo e armazenados para uma posterior análise e inspeção.

A instrumentação de campo, com a inserção de microprocessadores nos mais diferentes instrumentos, permitiu implantar detalhadas estratégias de controle, utilização de parâmetros e monitoração remota de uma forma tão simples e eficiente nunca disponível nas arquiteturas mais antigas [32].

Outro fato importante é que, com o aumento da confiabilidade e redução de custo da instrumentação analítica, os processos produtivos estão passando a receber monitoração e a intervenção de instrumentos que antes ficavam somente dentro dos laboratórios de controle de qualidade de produtos. Unidades de analisadores adaptadas à instalação no campo podem ter uma instalação de forma definitiva ou pontual, dependendo agora apenas da necessidade de monitoração da variável de processo em questão [33].

Os processos de fabricação sem controles automáticos são inviáveis na era moderna. Independentemente do ramo de atividade, todo o processo a partir de um nível mínimo de complexidade apresentará ganho considerável ao se inserir sistemas de controle [34]. Desta forma, tornou-se comum na indústria instrumentos mais sofisticados, precisos e confiáveis para a medição das diversas variáveis de processo [35].

Juntamente com esta recente oferta de novos transdutores é que nos foi permitido melhorar o controle de concentração de produto final, ácido nítrico diluído, neste trabalho.

O controle de qualidade é realizado a partir de coletas tanto de ácido nítrico a 53% como a 61% de concentração. Estas coletas são realizadas em intervalos de 8 horas, totalizando, no mínimo, 3 coletas diárias para cada um dos fluxos de produto final. Durante os intervalos, a qualidade do produto é acreditada em virtude da estabilidade do processo e da capacitância do processo tancagem de ácido, que equaliza as pequenas distorções pontuais do produto recém estocado.

A implantação da malha de controle de concentração permitirá aos operadores manter os níveis de concentração do produto final, com mínimos desvios ao valor certificado e desta forma aumentar a disponibilidade de ácido diluído.

Como transdutor estaremos utilizando o sistema de medição de condutividade da Yokogawa S/A. Este sistema, EXA ISC 402 G, possui 0,5% de precisão em largas faixas de trabalho para a variável de processo condutividade 1 a 2.000.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ e temperatura de processo do fluido de -20 a 140°C sem que seja necessário alterar a constante da célula. Este transdutor foi desenvolvido para aplicações em que a medição de concentração de ácidos, bases ou soluções salinas devem ser utilizadas para controle de processos. Este instrumento, além de robusto, é bastante versátil, a tensão de alimentação pode ser fornecida através de fontes contínuas ou alternadas e todos os parâmetros de configuração são armazenados em memórias não voláteis, garantindo assim, a integridade dos dados mesmo após períodos de interrupção de energia elétrica.

O "software" residente permite a correção da indicação em função da temperatura do fluido de processo bem como a linearização do sinal de transmissão.

O princípio de funcionamento deste instrumento é simples. Na verdade, o motivo fundamental que impediu a implementação deste tipo de transdutor para aplicações como esta, no passado, foi a impossibilidade de o instrumento realizar a compensação instantânea da temperatura de processo de forma a garantir uma grande precisão na informação da variável medida.

Através de duas bobinas, ver figura 5.1, é possível medir a condutividade sem a necessidade de qualquer contato direto com fluidos do processo. A medição é baseada no acoplamento magnético de duas bobinas, toróides, através do fluido. O transdutor alimenta a bobina fonte com uma tensão de referência (V_1) a alta frequência. O núcleo desta bobina é composto por um material de alta permeabilidade magnética, desta forma um forte campo magnético é gerado por esta bobina. O fluido passa através da bobina fonte e pode ser considerado como um enrolamento secundário.

O campo magnético induz uma tensão (V_2) no fluido que está se comportando como o enrolamento secundário. A corrente induzida (I) no fluido é proporcional à voltagem (V_2) e a condutividade do líquido; $I = V_2 \times G$, conforme a lei de Ohm.

A condutividade G é proporcional à condutividade específica e a uma constante que é determinada pela geometria do sensor.

A segunda bobina, bobina receptora, ao ser atravessada pelo fluido se comporta como um enrolamento de um transformador. A corrente induzida no fluido irá criar um campo magnético na bobina receptora. A tensão induzida (V_3) será resultado deste campo magnético e representará a saída do transdutor. A tensão induzida na bobina receptora será proporcional à condutividade específica do líquido de processo.

A partir daí, o microprocessador irá realizar a linearização do sinal, compensação da temperatura e irá, conforme parametrização, indicar o sinal de saída em condutividade ou concentração [36, 37]. Os demais componentes da malha de controle sugerida seguem os princípios de funcionamento consagrados nas técnicas de controle automático de processos.

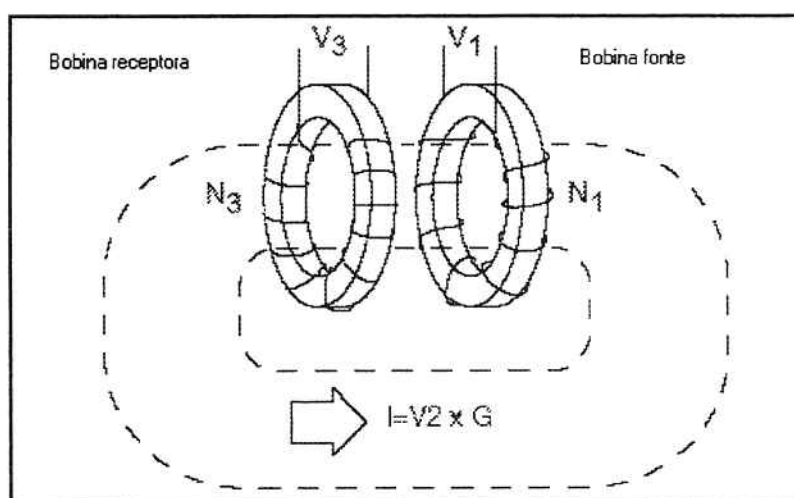


Figura 5.1 – Diagrama explicativo do princípio de funcionamento do condutivímetro.

6. Simulação e testes

Nas últimas décadas, consideráveis progressos foram conseguidos através do desenvolvimento de modelos matemáticos a fim de prever a performance de veículos, máquinas e estruturas. A utilização de recursos computacionais para auxiliar o gerenciamento e planejamento da produção tem crescido muito rapidamente. Estas técnicas têm permitido aumento da qualidade dos produtos e a redução do tempo de fabricação.

As medições das variáveis em processos contínuos, como temperatura, pressão e fluxo são utilizadas para otimizar e/ou controlar os processos industriais. Avaliações, experimentos e testes são essenciais para o contínuo desenvolvimento de sofisticados produtos. A eficiência e a precisão as medições das variáveis de processo têm uma grande importância para os processos químicos.

As análises de processos e simulações são cada vez mais comuns nas indústrias e estudos de modificações. O método empregado deve ter preferencialmente uma combinação do teórico com o prático [38].

Neste trabalho acompanhamos a coleta de seis meses de análises dos produtos finais da unidade, ácido nítrico diluído a 53% e a 61% de concentração. Tivemos um total de aproximadamente 2.000 análises neste período. Os valores médios agrupados mensalmente dos dados coletados são apresentados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Média dos resultados das análises de concentração do período

Ano 2002	Média concentração Produção de ácido a 53%	Média concentração Produção de ácido a 61%
Janeiro	53,89%	61,51%
Fevereiro	54,12%	61,88%
Março	53,49%	61,73%
Abril	53,78%	61,97%
Maio	53,61%	61,92%
Junho	53,86%	62,03%

A produção diária média é aproximadamente 120 ton/dia para o ácido nítrico diluído a 53% e de 150 ton/dia para o ácido nítrico diluído a 61%. Desta forma devemos estimar uma produção para o período de seis meses em torno de 21.600 ton para o ácido nítrico a 53% e de 27.000 ton para o ácido nítrico a 61%. Em virtude da demanda, os valores parciais de produção dos ácidos podem ser alterados, mas, para nosso estudo, estes valores são apropriados. Na tabela 6.2 é apresentado o valor médio de concentração da produção dos ácidos nítricos a 53% e 61% bem como os totais estimados de produção.

Atualmente a planta não conta com qualquer controle automático de concentração para o produto final, desta forma a instrumentação apenas contabiliza as retiradas em cada linha de ácido nítrico diluído para a tancagem.

Baseando-se nos valores médios de concentração e na produção estimada do período, tabela 6.2, é possível prever um aumento de volume de produto especificado em torno de 200 ton/mês através do simples ajuste da concentração através da diluição com água. Note que a produção da unidade, base 100% de concentração, não será alterada, mas a oferta de ácido nítrico diluído para vendas sim.

Tabela 6.2 – Média dos resultados das análises e estimativa de produção no período

Média da concentração de produção de ácido 53% no período (%)	Produção estimada no período (ton _{base 100%})	Média da concentração de produção de ácido 61% no período (%)	Produção estimada no período (ton _{base 100%})
53,79	21600	61,84	27000

A quantidade de ácido nítrico diluído varia em função da concentração especificada no produto, podemos ter variações na quantidade de produto disponibilizado para venda apesar da produção da planta ser a mesma (base 100%). O cálculo para os ganhos com o controle de concentração será aplicado com base na tabela 6.3. Nela podemos verificar que pela simples diluição poderemos aumentar em aproximadamente 600 ton tanto a oferta de ácido nítrico a 53% como para 61% no período. Este ganho de 1200 ton, considerando os valores médios para o ácido nítrico diluído a 53% e 61%, cotados no mercado nacional conforme informado na tabela 6.4, reverterá uma capacidade de faturamento a maior da ordem de R\$ 422.000,00 para o ácido nítrico a 53% e de R\$ 486.000,00 para o ácido nítrico a 61%.

Tabela 6.3 – Disponibilidade de venda de ácido em função da concentração especificada.

Produção ton _{base 100%}	Concentração do produto (%)	Disponibilidade de venda (ton)
21600	53	40754,71
	53,79	40156,16
	61	44262,29
27000	61,84	43661,06

Do valor de R\$ 908.000,00 para um período de 6 meses podemos estimar um ganho na ordem de R\$ 150.000,00 ao mês. Para o custo de implantação das modificações representadas na figura 6.2, um retorno do investimento, "pay-back", em torno de 3 meses é bastante razoável.

Tabela 6.4 – Valor médio do ácido nítrico no mercado nacional

Período	Valor para o ácido nítrico a 53%	Valor para o ácido nítrico a 61%
Janeiro – 2003	R\$ 703,66	R\$ 809,76

Fonte: Ultrafertil S/A

A malha sugerida, figura 6.1, é fundamentalmente um controle de concentração para as duas correntes de saída do ácido nítrico diluído.

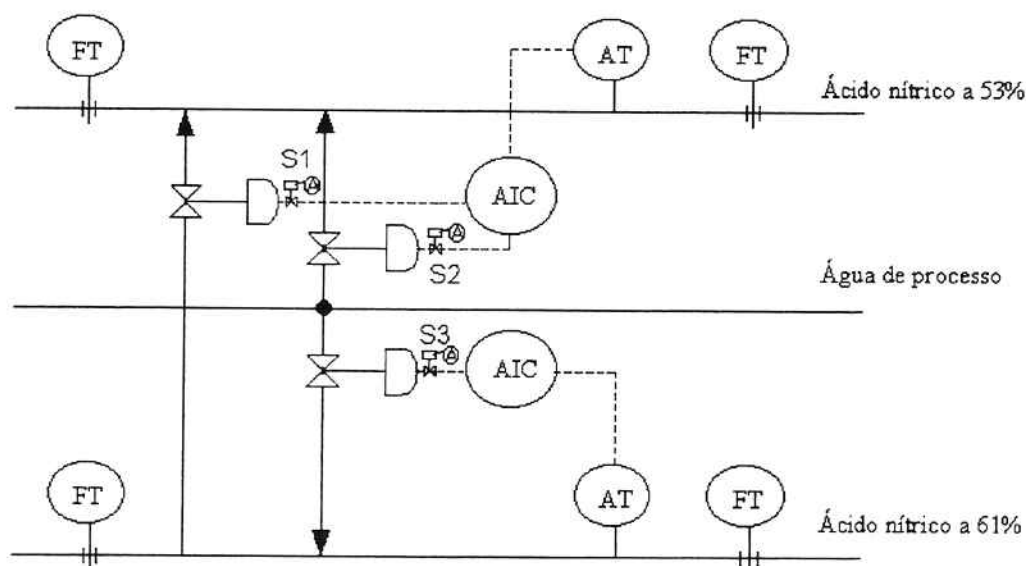


Figura 6.1 – Protótipo para o controle de retirada de produto final

Podemos analisar a figura 6.1 em duas frações distintas. Na fração representada na figura 6.2 temos representado a malha de controle para ajuste da concentração do ácido nítrico diluído a 61%.

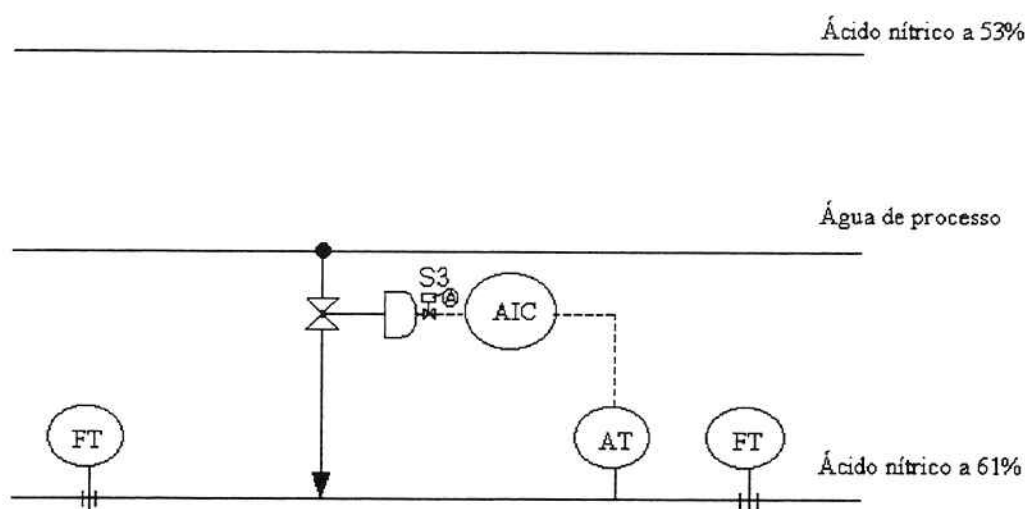


Figura 6.2 – Protótipo para o controle de retirada de ácido nítrico 61%

Na fração representada pela figura 6.3 temos representado a malha de controle para ajuste de concentração do ácido nítrico diluído a 53%.

Pelo histórico das análises de concentração de produto final, verifica-se que para garantir a especificação do produto pela ISO 9000 o valor de concentração para o ácido nítrico retirado da planta fica ligeiramente acima do limite inferior assegurado na especificação. O ideal seria diminuir esta margem e desta forma, apesar de manter a produção de ácido nítrico com base a 100% de concentração inalterada, aumentar, através de ajustes automáticos de concentração, a oferta em volume de ácido nítrico diluído.

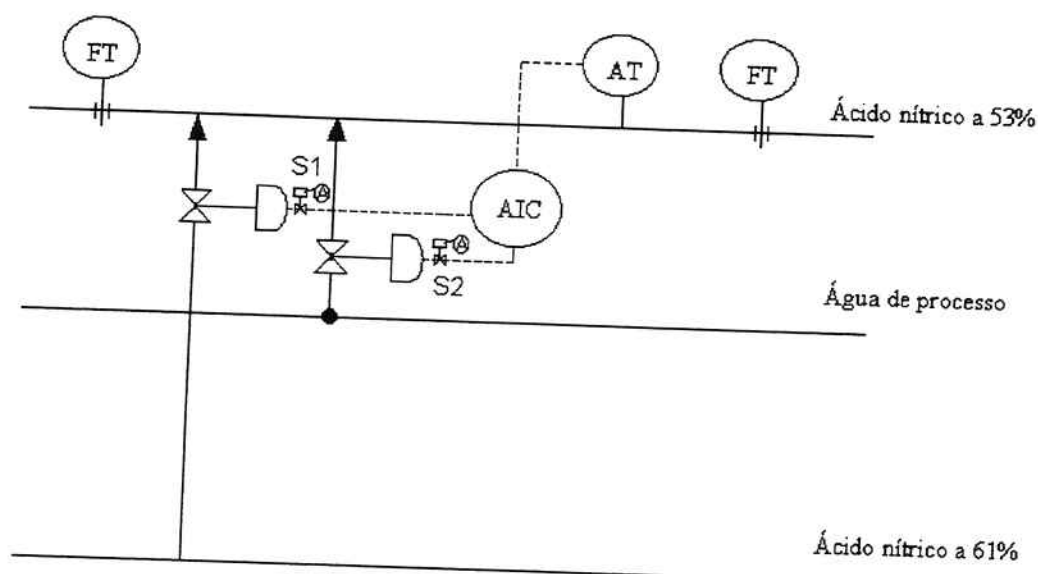


Figura 6.3 – Protótipo para o controle de retirada de ácido nítrico 53%

No caso da malha representada pela figura 6.3, é prudente investir num controlador “split-range” a fim de se habilitar correções tanto para aumento como para diminuição da concentração.

Como medida de segurança intrínseca do processo; as válvulas de controle deverão ser especificadas como ar para abrir e classe de vedação no mínimo 2; assim, através das solenóides S1, S2 e S3 poderemos inibir a atuação do controle de ajuste de concentração para qualquer eventualidade, disfunção ou necessidade da operação.

Conclusões

A atualização da instrumentação de uma unidade produtiva pode implementar vantagens e facilidades que a instrumentação pneumática e eletrônica convencionais não possuem. A instrumentação de campo com inserção de microprocessadores disponibiliza a utilização de detalhadas estratégias de controle, utilização de parâmetros e monitoração remota de uma forma muito mais simples que a disponível nos instrumentos mais antigos.

A redução do custo da instrumentação analítica e o aumento da confiabilidade permite a implantação de transdutores sofisticados no campo, possibilitando ao controle automático manipular de forma contínua variáveis que no passado eram apenas monitoradas em laboratórios de controle de qualidade de produtos algumas vezes por dia.

Através da simulação do processo é possível verificar os pontos onde se pode efetuar melhorias. A partir do modelo construído é possível simular as modificações no processo e a desta forma estimar com muita segurança os benefícios e ganhos a serem auferidos no mundo real.

A principal vantagem da modificação do controle de concentração na retirada de produto final de uma unidade de ácido nítrico diluído foi permitir a flexibilização da produção, aumento da margem dos produtos e minimização dos custos produtivos com uma taxa de retorno extremamente alta. Os resultados apresentados fomentam novas análises no processo bem como no anexo da unidade produtiva que possui a finalidade do abatimento dos efluentes gasosos, óxidos nítricos, emitidos para a atmosfera.

Bibliografia

- 1 VIANA, C. M.;
RODRIGUES, C. R.
CASTRO, R. G. Otimização de 'Loops' de sistemas de controle através de computadores digitais, 2º Seminário de Instrumentação I.B.P. 1978, IBP – Trabalhos técnicos p. 2 - 55;
- 2 CÂMARA, C. Engenharia de projeto de automação em indústrias de processo do Brasil, Seminário sobre Automação de Processos Industriais I.B.P. 1977, IBP – Trabalhos técnicos p. 172 - 184;
- 3 SIGHIERI, L. Instrumentação Eletrônica ou Pneumática, Seminário sobre Automação de Processos Industriais I.B.P. 1977 p. 414 a 425;
- 4 MEREDITH, G. Pneumatic or electronics – What the papers say, Process instrumentation, s. ed., s. l., 1972.;
- 5 RIEGEL, E. R. Handbook of Industrial chemistry. 8.ed. New York. VNR 1983. p. 164 a 171.;
- 6 STOCCHI, E. Industrial Chemistry. 1.ed. London England. Ellis Horwood 1990, p. 285 a 305.;
- 7 VOSS H.;
DROST E. Catalyst gauzes for nitric acid production – New developments. Hanau – Germany, s. d., s. ed.
- 8 DEGUSA-HÜLS Knitting for victory, Nitrogen & Metanol Nº 245 May-June 2000, s. l., p. 38 a 47.
- 9 ABIQUIM Anuário das indústrias – 1999, s.ed., s.l.
- 10 ULTRAFERTIL S.A. Manual de operação da Unidade Nova de Ácido Nítrico, Complexo Industrial de Cubatão, Ultrafertil S.A. Chave eletrônica: UF-CB54-BK2-0075 Rev. 1 de 29/12/2002 Cubatão s. ed. p. 05 a 35 e p. 58 a 64;
- 11 BÜCHNER, W. Industrial Inorganic Chemistry. 1.ed. New York. VCH. 1989. p. 55 a 69.;
- 12 DROST E.;
DÜBLER H. Multinit, a novel catalyst gauze. Nitrogen Issue Nº 225 – January – February 1997, s. l., s. ed.;
- 13 MCCABE, A. R.;
SMITH G. D. W.;
PRATT A. S. The mechanism of reconstruction of rhodium-platinum catalyst gauzes, Platinum Metals – 1986 p. 54 a 62;
- 14 DROST E. Experience with Multinit. U.S.A. Degusa-Hüls 2001, s. ed. ;
- 15 STANLEY, P. Dynamic simulation for insight. Chemical Processing, s. l., Putman Publication December 1999 p. 47 a 50.;
- 16 NEHMI, V. A. Química Inorgânica Metais e Não-Metais. 14.ed. São Paulo S.P. DISAL 1982.;
- 17 HUSSAIN, A. Chemical processs simulation. 1.ed. Kanpur. A Halsted Press Book . 1985.;
- 18 PRADO, D. Usando o ARENA® em simulação, 1.ed. Belo Horizonte M.G. FDG 1999.;
- 19 PRADO, D. S. Teoria das Filas e da Simulação. 1.ed. Belo Horizonte M.G. FDG 1999.;

- 20 SYSTEMS MODELING ARENA[®] – User's Guide. System Modeling Corporation, s. ed., s. l., 1996.
- 21 SYSTEMS MODELING ARENA[®] – Reference Guide. System Modeling Corporation, s. ed., s. l., 1994.
- 22 HYPROTEC Hyprotec News, Hyprotec Ltd. History, Alberta Canada, s. ed., s. d, p. 1 a 4.;
- 23 PARAGON ARENA[®] – Introdução à simulação. Paragon consultoria e tecnologia, s. ed., s. l., 1998.
- 24 SCACCHI, W. Comparative case analysis for understanding software processes. Atrium Laboratory Los Angeles, CA., s. d.
<http://www.usc.edu/dept/atrium/papers>
- 25 SCHNEIDER, D. F. Steady-state simulators for design Chemical Processing Putman Publication December 1998 p. 49 a 55., s. l. ;
- 26 SCACCHI, W. Experience with software process simulation and modeling, Atrium Laboratory, California U.S.A. Journal of Systems and Software, 1999
<http://www.usc.edu/dept/atrium/papers>
- 27 MORAES, C. C.;
PEREIRA, S. L.;
GODOY, J. R. R. Simulação e análise de desempenho de processos visando a otimização de sistemas integrados de produção. São Paulo, EPUSP, GAESI, 2000. Apresentado no seminário de pós-graduação, nota de aula.
- 28 SCACCHI, W. Process life cycle engineering: A knowledge-based approach and environment. Intelligent Systems in accounting, finance and management, Vol. 6. 1997; s. ed.; p. 83 a 107.,
- 29 CASTRO, R. G. A instrumentação no controle de processo de uma siderúrgica, 2^o Seminário de Instrumentação I.B.P.1978, IBP – Trabalhos técnicos p. 171 - 194;
- 30 CASTRUCCI, P. B. L. Controle automático, teoria e projeto. 1.ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher. 1969. p. 1 a 10;
- 31 LAJOY, M. H.;
BAILLIF E. A. Process control analysis, 1.ed. Pitts burg. Instruments Publishing Company 1956.;
- 32 NACHTIGAL C. L. Instrumentation and control: Fundamentals and applications. 1.ed. U.S.A. Ed. Braun-Brumfield. 1990. p. 1 a 57;
- 33 LIPTÁK, B. Instrumentation processing in the industries, 1.ed. Philadelphia Chiton Book Company 1973. p. 518 a 855;
- 34 DOYLE, J. C. Feedback control theory. 1.ed. U.S.A. Ed. Macmillan. 1992. p. 1 a 13;
- 35 KALLEN, H. P. Handbook of instrumentation and control. 1.ed. U.S.A. Ed. McGraw-Hill. 1961. p. 1-1 a 2-39;
- 36 YOKOGAWA S.A. General specifications of GS12D8C2-01E-H. 4.ed. Netherlands., s. ed. s. d.;
- 37 ROSEMOUNT Inc. Theory and application of conductivity. Rev. A. U.S.A. 2002, s. ed.;
- 38 DALLY, J. W. Instrumentation for engineering measurements. 1.ed. U.S.A. John Wiley. 1983. p. 1 a 17;

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBIA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÓES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovários - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Roda-Ferrovária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobreensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutrais Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abrigadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energico – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUIZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Design a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SÍLVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoelétricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURANAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo – OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Falhas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER

- BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0119 – Técnicas "Anti-Windup" – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticas pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA
- BT/PEA/0126 – Cálculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos – ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR
- BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JUNIOR
- BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARÍA GARCÍA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MARIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR

- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriental Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN



