

1 MOSTRA DE TRABALHOS

CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - 2017



ORGANIZADOR:
LEONARDO ULISES IURINIC

ANAIIS



I Mostra de Trabalhos de Conclusão de
Curso de Engenharia Elétrica

ANAIS



Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e
das Missões

REITOR

Luiz Mario Silveira Spinelli

PRÓ-REITOR DE ENSINO

Arnaldo Nogaró

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, EXTENSÃO E PÓS-GRADUAÇÃO

Giovani Palma Bastos

PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO

Nestor Henrique de Cesaro

CÂMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN

Diretora Geral

Silvia Regina Canan

Diretora Acadêmica

Elisabete Cerutti

Diretor Administrativo

Clovis Quadros Hempel

CÂMPUS DE ERECHIM

Diretor Geral

Paulo José Sponchiado

Diretora Acadêmica

Elisabete Maria Zanin

Diretor Administrativo

Paulo Roberto Giollo

CÂMPUS DE SANTO ÂNGELO

Diretor Geral

Gilberto Pacheco

Diretor Acadêmico

Marcelo Paulo Stracke

Diretora Administrativa

Berenice Beatriz Rossner Wbatuba

CÂMPUS DE SANTIAGO

Diretor Geral

Francisco de Assis Górski

Diretora Acadêmica

Michele Noal Beltrão

Diretor Administrativo

Jorge Padilha Santos

CÂMPUS DE SÃO LUIZ GONZAGA

Diretora Geral

Dinara Bortoli Tomasi

CÂMPUS DE CERRO LARGO

Diretor Geral

Edson Bolzan



Anais da I Mostra de Trabalhos de
Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica

24 a 30 de novembro de 2016.

Frederico Westphalen – RS

COMISSÃO ORGANIZADORA

Corpo Docente

Amauri Fagundes Balotin

Aquiles Rossoni

Fabrcio Hoff Dupont

Hamiltom Confortin Sartori

Leonardo Ulises Iurinic

Luiz Antnio Cantarelli

Servidores Técnico-administrativos

Tamara Mendes Duarte

Comissão de Avaliação

Amauri Fagundes Balotin

Aquiles Rossoni

Clicéres Mack Dal Bianco

Cristian Cleder Machado

Fabrcio Hoff Dupont

Guilherme Bontorini Alves

Hamiltom Confortin Sartori

Leandro Rosniak Tibola

Leonardo Ulises Iurinic

Luiz Antnio Cantarelli

Organização dos Anais

Leonardo Ulises Iurinic

**Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Câmpus de Frederico Westphalen
Departamento de Engenharias e Ciência da Computação
Curso de Engenharia Elétrica**

I Mostra de Trabalhos de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica

Anais

Organizador
Leonardo Ulises Iurinic



Frederico Westphalen
2017



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivados 3.0 Não Adaptada. Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>.

Organização: Leonardo Ulises Iurinic
Revisão metodológica: Elisângela Bertolotti
Diagramação: Elisângela Bertolotti
Capa/Arte: Laís da Rocha Giovenardi
Revisão Linguística: Wilson Cadoná

O conteúdo de cada resumo bem como sua redação formal são de responsabilidade exclusiva dos (as) autores (as).

Catálogo na Fonte elaborada pela
Biblioteca Central URI/FW

M87a Mostra de Trabalhos de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica
(1.: 2017 : Frederico Westphalen, RS)
Anais [da] I Mostra de Trabalhos de Conclusão de Curso de Engenharia
Elétrica [recurso eletrônico] / Organizador: Leonardo Ulises Iurinic. –
Frederico Westphalen : URI – Frederico Westph, 2017.
97 p.

Disponível em: <www.fw.uri.br/site/publicacoes>
ISBN 978-85-7796-211-2

1. Trabalhos de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica. 2. Resumo. I.
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Curso de
Engenharia Elétrica. I. Iurinic, Leonardo Ulises, org. II. Título.

CDU 621.3

Bibliotecária: Gabriela de Oliveira Vieira



URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prédio 9

Câmpus de Frederico Westphalen
Rua Assis Brasil, 709 - CEP 98400-000
Tel.: 55 3744 9223 - Fax: 55 3744-9265
E-mail: editora@uri.edu.br

Impresso no Brasil
Printed in Brazil

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	8
<i>Leonardo Ulises Iurinic</i>	
SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA GERENCIAMENTO TÉRMICO EM AMBIENTE CONTROLADO.....	9
<i>Adilson Rohde; Hamiltom Sartori</i>	
METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM INDÚSTRIAS	18
<i>Adrieli Ruviano; Luiz Antônio Cantarelli</i>	
COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DE PROTEÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA TENSÃO	24
<i>Alex Dutra Colussi; Aquiles Rossoni</i>	
REGULADOR DE TENSÃO AUTOMÁTICO POR COMUTAÇÃO DE TAPS APLICADO A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO MONOFÁSICOS.....	30
<i>Carlos Antônio Souza; Hamiltom Confortin Sartóri</i>	
ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE FLUXO DE CARGA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO EM CONDIÇÕES DE CONTINGÊNCIA	36
<i>Cleber Cezar; Aquiles Rossoni</i>	
SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO.....	42
<i>Elisandro Ues; Aquiles Rossoni</i>	
GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA CONECTADOS À REDE.....	49
<i>Gilberto Antonio Grassi; Fabrício Hoff Dupont</i>	
MODULAÇÃO POR ELIMINAÇÃO SELETIVA DE HARMÔNICAS APLICADA A INVERSORES MULTINÍVEIS EM CASCATA	56
<i>Júnior Romani; Fabrício Hoff Dupont</i>	

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	62
<i>L. Romitti ; F. H. Dupont</i>	
SISTEMA AUTOMÁTICO SELETOR DE PASSAGEM E POSIÇÃO EM ESTEIRAS INDUSTRIAIS	68
<i>Maicon Piovesan Dalcin; Dr. Eng. Hamiltom Confortin Sartori</i>	
CONTROLE DO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO DE UMA PLANTA FRIGORÍFICA	74
<i>Márcio Sgarabotto; Hamiltom C. Sartori</i>	
EMULADOR DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BASEADO NO CONVERSOR FULL-BRIDGE CC-CC	81
<i>Mateus José Tiburski; Fabrício Hoff Dupont</i>	
METODOLOGIA DE ANÁLISE DE ELETRIFICADORES DE CERCA PARA PROTEÇÃO DE PERÍMETROS: MEDIÇÃO DE GRANDEZAS E ATENDIMENTO A NORMAS	87
<i>Mauro de Souza; Aquiles Rossoni</i>	
UM ESTUDO DE CASO DA TELEFONIA IP EM REDES CONVERGENTES COM A UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO SIP	93
<i>Rafael Pollon; Fabrício H. Dupont</i>	

APRESENTAÇÃO

Seguindo os princípios que fundamentam à Universidade, o ensino, a pesquisa e a extensão, surgiu a ideia de criar um canal de comunicação entre o Curso de Engenharia Elétrica e a comunidade em geral, um canal que permita exibir a competência dos profissionais que estão sendo formados e o diferencial de conhecimentos adquiridos por eles durante a realização dos seus estudos. Sendo assim, foi implementado o projeto de extensão intitulado Amostra de Trabalhos de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica. Este projeto consistiu em um evento que permitiu a apresentação aberta ao público em geral dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) que formam parte dos requisitos para obter o título de Engenheiro Eletricista.

Os TCCs são trabalhos de pesquisa e como tal, o objetivo dos mesmos consiste na resolução de problemas mediante a aplicação do método científico, gerando assim conhecimento novo, fidedigno e com relevância social. Sendo assim, esta amostra constituiu uma oportunidade única, oferecida à comunidade, para conhecer os trabalhos desenvolvidos na URI e entender o processo de avaliação que leva aos novos profissionais à comunidade.

Este projeto permitiu a publicação do presente texto, recopilando todos os resumos estendidos que formaram parte dos TCCs dos alunos que defenderam e aprovaram o seu trabalho. O objetivo deste trabalho é que o leitor(a) possa encontrar a essência de cada trabalho e os principais resultados obtidos, o que poderá levar à consulta do trabalho completo na biblioteca da URI ou entrar em contato com o autor do respectivo trabalho.

Leonardo Ulises Iurinic

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA GERENCIAMENTO TÉRMICO EM AMBIENTE CONTROLADO

Adilson Rohde (Autor)

Hamilton Sartori (Orientador)

Resumo: Nos mais diversos ramos de atuação da indústria, há a necessidade de monitorar e registrar as temperaturas de ambientes para se adequar às normas. Em indústrias frigoríficas a circular 175 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), item 12, exige que o empreendimento forneça os registros de temperaturas dos ambientes, em períodos não maiores do que uma hora. Outra importante regulamentação é a NR36 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) item 36.13, segundo a qual consideram-se artificialmente frias temperaturas inferiores, na primeira, segunda e terceira zonas climáticas a 15° C, na quarta zona a 12° C, e nas zonas quinta, sexta e sétima, a 10° C, conforme mapa oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, e/ou avaliações de variações térmicas que poderiam causar algum tipo de dano em produtos perecíveis, equipamentos suscetíveis, além de tornar o ambiente insalubre a operadores funcionários. Assim neste trabalho foi desenvolvido um sistema supervisório para monitorar e armazenar registros de temperaturas. Estes registros podem ser disponibilizados, quando solicitados, aos órgãos fiscais como Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). O supervisório, desenvolvido no Elipse E3, realiza as funções como: Interface gráfica, armazenar variáveis no banco de dados para análises e consultas futuras, gerar relatórios e alarmes. As variáveis de temperaturas dos ambientes são disponibilizadas ao supervisória através do CLP COMPACLOGIX L35E e este as obtém através do módulo 1769 SM2 (Mestre) comunicando com os controladores de temperatura N1100 da NOVUS (escravos). A comunicação entre o CLP (mestre) e o controladores (escravos) é realizado através do algoritmo, desenvolvido em linguagem *LADDER*, projetado e desenvolvido para permitir escrever SetPoint, escrever ou ler um registro específico ou ler ciclicamente o SP e PV de cada controlador habilitado na rede RS485.

Palavras-chave: Supervisório, controlador lógico programável, rede RS485, Modbus.

INTRODUÇÃO

Automação é o uso de comandos lógicos programáveis para substituir as atividades manuais que envolvem tomadas de decisão por seres humanos. A automação reduz a necessidade de requisitos sensoriais e mentais humanos, além de otimizar a produtividade. O termo Automação foi criado na década de 1940 por um engenheiro da *Ford Motor Company*, que descreveu vários sistemas nos quais ações e controles automáticos substituíam o esforço e a inteligência humanos. Nessa época, os dispositivos de controle eram eletromecânicos por natureza. A parte lógica era realizada por meio de reles e temporizadores intertravados, e a intervenção humana acontecia em alguns pontos de decisão. Por meio de reles, temporizadores, botões, posicionadores mecânicos e sensores, podiam ser realizadas sequências simples de movimento lógico ao ligar e desligar motores e atuadores. Com o

advento dos computadores e dos dispositivos de hardware, esses controles se tornaram menores, mais flexíveis e com menor custo de implementação e modificação. Os primeiros controladores lógicos programáveis foram desenvolvidos nas décadas de 1970 e 1980 pela Modicon como resposta ao desafio proposto pela General Motors (GM) de desenvolver um hardware que substituísse a lógica de relé com fio (LAMB, 2015).

Com a crescente introdução de sistemas de automação industrial tornou complexa a tarefa de controlar, monitorar e gerenciar estes sistemas. Diferentes sistemas computacionais, chamados supervisórios têm sido desenvolvidos para permitir este gerenciamento. O supervisório tem como objetivo ilustrar um processo através de figuras e gráficos, tornando-se assim, uma interface objetiva entre o operador e o processo, desviando da linguagem de máquina.

Nos mais diversos ramo de atuação da indústria há a necessidade de monitorar e registrar as temperaturas de ambientes para se adequar às normas. Em indústrias frigoríficas a circular 175 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), item 12, exige que o empreendimento forneça os registros de temperaturas dos ambientes. Outra importante regulamentação é a NR36 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) item 36.13, segundo a qual consideram-se artificialmente frias temperaturas inferiores, na primeira, segunda e terceira zonas climáticas a 15° C, na quarta zona a 12° C, e nas zonas quinta, sexta e sétima, a 10° C, conforme mapa oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, e/ou avaliações de variações térmicas que poderiam causar algum tipo de dano em produtos perecíveis ou em equipamentos suscetíveis a tais variações.

O controle térmico de ambientes em indústrias frigoríficas, geralmente é realizado por um controlador de temperatura isolado em cada ambiente. As alterações de parâmetros destes controladores ou a visualização das informações só é possível no local onde está alocado o controlador. Estes dispositivos geralmente possuem uma interface serial, no padrão RS485, com protocolo Modbus RTU incorporado. Através desta interface é possível configurar e ler seus registros.

O objetivo deste trabalho será desenvolver um supervisório, na plataforma Elipse E3, com a função de gerenciar, armazenar, gerar e exportar relatório de arquivos em xlsx ou pdf, gerar alarmes, interface para programação e leitura das temperaturas dos controladores de cada ambiente. O supervisório será conectado a um CLP mestre via ethernet, e este aos controladores através de um módulo de interface serial, no padrão RS485, com os controladores de temperatura. O CLP mestre terá a função de escrita e leitura dos registros em cada controlador e disponibilizar ao supervisório. A definição da arquitetura utilizando

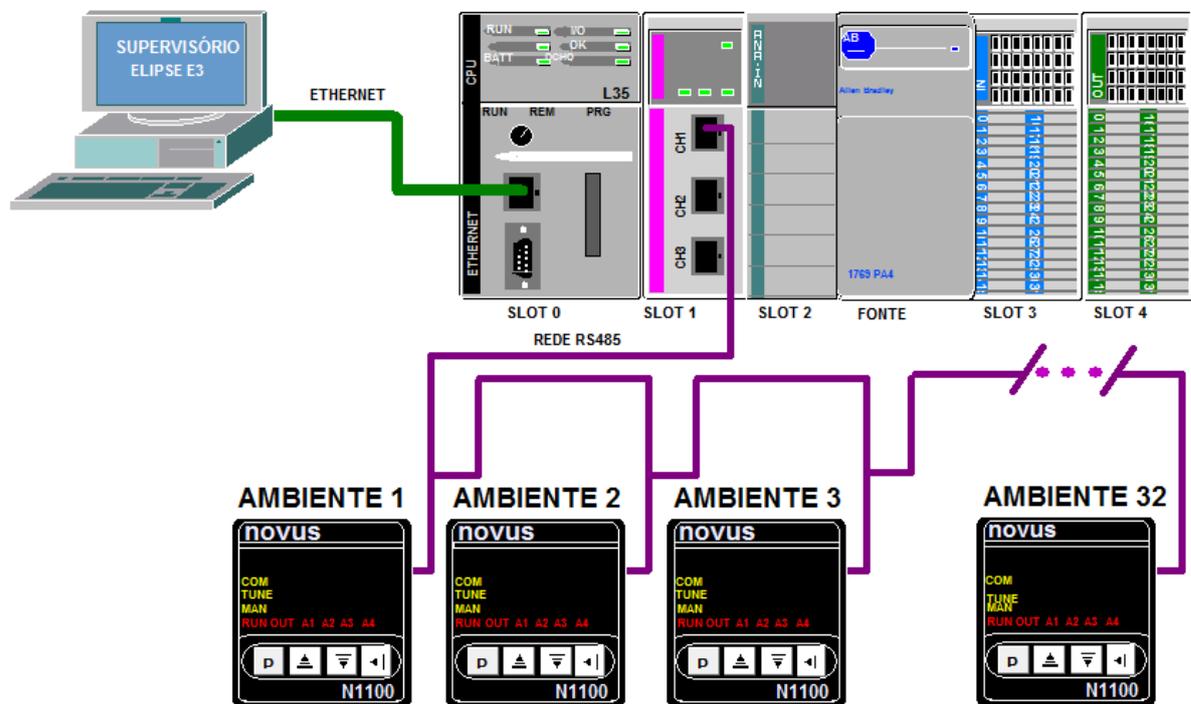
supervisório, CLP (mestre) e controladores (escravos) têm como objetivo integrar o controle das temperaturas dos ambientes ao CLP mestre e este poderá controlar atuadores das mais diversas formas, seja via analógica, discreta ou outra interface de comunicação industrial (*Profibus, EthernetIP, Devicenet, CanOpen, etc.*).

1 DESENVOLVIMENTO

1.1 Configuração hardware

A configuração do sistema para supervisão e gerenciamento de comunicação com os controladores de temperatura dos ambientes foi estruturado como demonstrado na figura 1. O objetivo desta arquitetura é integrar todos os controladores que disponibilizam de uma interface RS485, com protocolo Modbus RTU a um CLP que gerencia e controla outros processos da indústria.

Figura 1: Arquitetura do *hardware*.



Fonte: Elaborado pelo autor

1.2 Clp mestre

Para realizar a comunicação entre mestre e escravo são necessários os seguintes requisitos:

- Os parâmetros de velocidade de comunicação e paridade devem ser iguais no mestre e escravo.
- Formar as informações, conforme tabela 5, em instruções de mensagem.
- Desenvolver algoritmo para efetuar a comunicação.

Para realizar a comunicação do CLP mestre com os controladores escravos foi desenvolvido o algoritmo de controle, em linguagem *LADDER*.

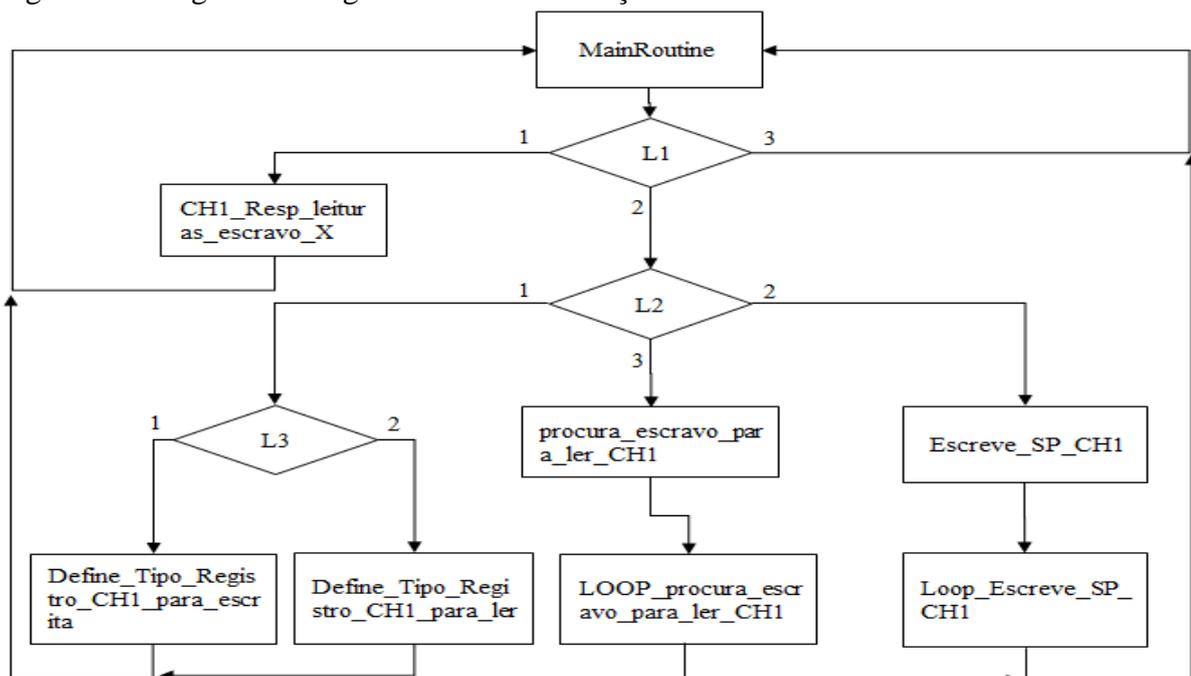
O algoritmo tem como função implementar as funções Modbus para cada solicitação de registros a ser lido ou escrito em um determinado escravo. As informações são enviadas e recebidas por escravos através de mensagens.

O algoritmo de controle foi desenvolvido para atender os seguintes requisitos:

- Escrever SP, quando solicitado.
- Escrever ou ler um registro específico, quando solicitado.
- Ler ciclicamente o PV e SP de cada escravo habilitado rede.

O algoritmo desenvolvido é representado através do fluxograma na figura 2.

Figura2: Fluxograma do algoritmo de comunicação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A rotina L1 (canal_1) é responsável por transmitir a mensagem e monitorar o status da comunicação, em função disto executar uma das três ações na prioridade de 1 para 3:

- Caso 1 - se completou a comunicação de leitura de um registro específico de algum escravo. Na sub-rotina (CH1_Resp_leituras_escravo_X) os dados da resposta do escravo são salvos em uma área de memória do clp.
- Caso 2 - se finalizou a comunicação de leitura de SP e PV ou finalizou a comunicação com erro.
- Caso 3 - se ainda não finalizou a comunicação retorna para rotina principal (*MainRoutine*).

A rotina L2 (CH1_dados_para_ler_escrever) é responsável salvar os dados lidos dos escravos e executar uma das três opções na prioridade de 1 para 3:

- Caso 1 - se solicitado escrever ou ler um registro específico.
- Caso 2 - se solicitado alterar SP em um determinado escravo. Através da sub-rotina “Loop_Escreve_SP_CH1” define em qual escravo foi solicitada do alterar o SP.
- Caso 3 - procura o próximo escravo para ler SP e PV. Através da sub-rotina “procura_escravo_para_ler_CH1” define o próximo escravo a ser lido e retorna para a rotina principal (*MainRoutine*).

A rotina L3 (CH1_dados_para_escrever_ler_escravo_x) é responsável por identificar se foi solicitado leitura ou escrita de um registro específico e em função disto executar uma das duas opções na prioridade de 1 para 2:

- Caso 1 - se solicitado a escrita de um registro específico montar as informações na mensagem de acordo com a função Modbus e retorna para a rotina principal (*MainRoutine*).
- Caso 2 - se solicitado leitura de um registro específico e montar as informações na mensagem de acordo com a função Modbus e retorna para a rotina principal (*MainRoutine*).

1.3 Supervisório

A tela inicial apresentada ao inicializar e rodar a aplicação, como apresentado na figura 3.

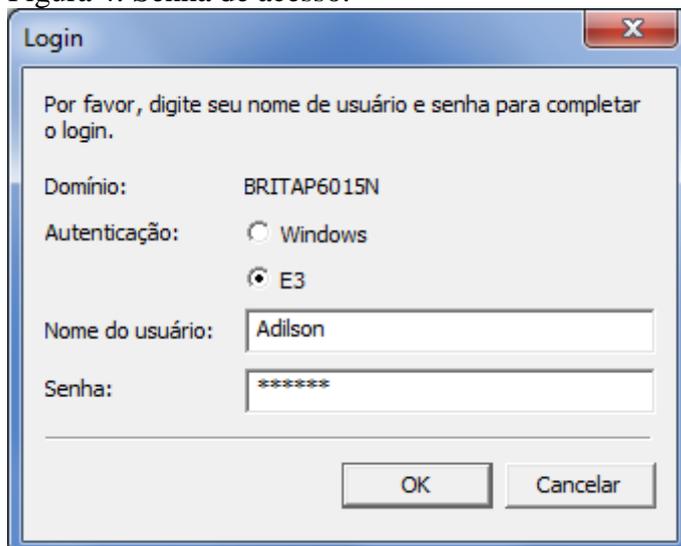
Figura3: Tela inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tela inicial possui um botão “CLICK AQUI PARA ACESSAR O SISTEMA” que permite entrar no sistema após ser fornecida a senha de acesso, como apresentado na figura 4.

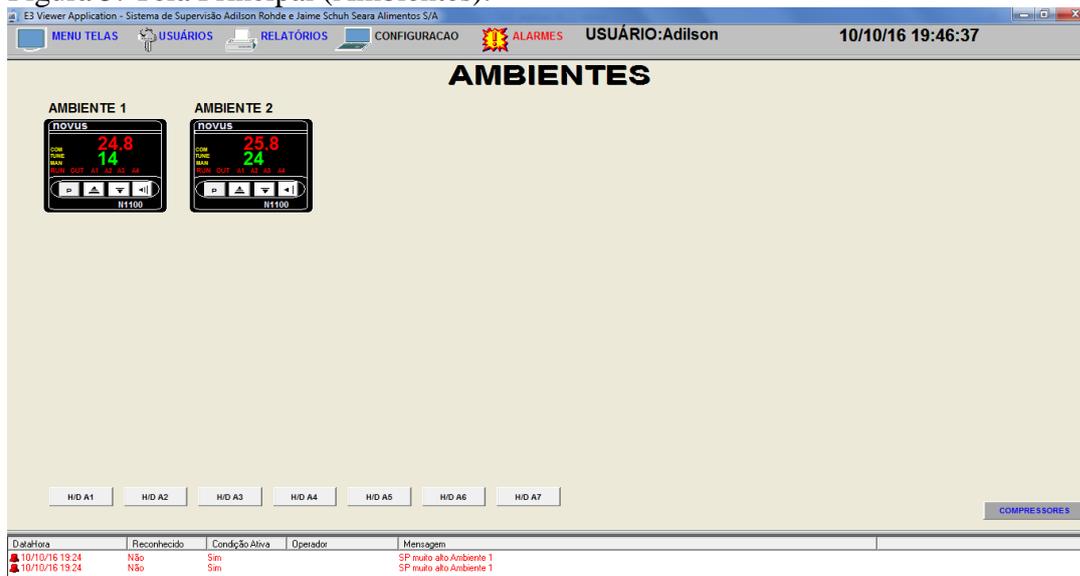
Figura 4: Senha de acesso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Se o usuário e senha forem válidas, o sistema abrirá a tela principal (Ambientes), como apresentado na figura 5.

Figura 5: Tela Principal (Ambientes).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tela principal é possível visualizar todos os controladores dos ambientes ativos, programar Setpoint e ler ou escrever um registro específico em cada controlador dos ambientes.

No MENU superior encontram-se disponíveis as seguintes opções:

- MENU TELAS – navega entre tela ambientes e tela de gráficos de temperatura.
- USUÁRIOS - permite fazer *Login*, *logout*, alterar senha e criar novo usuário.
- RELATÓRIOS – permite gerar relatório texto ou gráfico dos registros de temperaturas.
- ALRMES – permite visualizar o status e histórico dos alarmes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos de desenvolver um supervisor para monitoramento de temperatura em ambientes controlados com um CLP mestre e uma rede RS485 em Modbus RTU, foram alcançados. O CLP COMPCATLOGIX L35E é um poderoso controlador para aplicações distribuídas, permitindo uma interligação com outros CLPs e diferentes protocolos de comunicação, isto é possível através da utilização de módulos, como por exemplo o módulo 1769 SM2. Este módulo, utilizado para comunicar com os controladores, é responsável por disponibilizar a interface RS485 e ser o mestre na rede Modbus. A utilização da CPU L35E com o Módulo 1769 SM2 para comunicar com os controladores e o desenvolvimento do

algoritmo responsável para realizar a comunicação entre o mestre e os escravos, permitiu entender a estrutura dos dados que devem ser informados numa requisição do mestre ao escravo e a estrutura da resposta dos dados do escravo ao mestre. Isto é realizado através de instruções de mensagens no algoritmo de comunicação. Outro importante aspecto deste trabalho diz respeito à utilização do protocolo Modbus. O projeto do algoritmo de comunicação, realizado através do referencial teórico, pode servir como base para engenheiros e projetistas em diferentes projetos de dispositivos que possuam uma interface RS485 e protocolo Modbus, mudando apenas a tabela de registros Modbus de um dispositivo para outro.

REFERÊNCIAS

ALFA INSTRUMENTS, Protocolo de comunicação Modbus RTU/ASCII versão 1.0 – 2000.

ALVES, José Luiz Loureiro. *Instrumentação, Controle e Automação de Processos*. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. p. 1-300.

FREITAS, C. M, *Fundamentos do modbus*. Disponível em:
<<http://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus>, 2014.> Acesso em: 13 ago. 2016.

LAMB, Frank. *Automação Industrial na Prática*. Porto Alegre: Amgh, 2015. p. 1-300. (Tekne).

LEITÃO, A. M, Implementação de um servidor OPC UA em linguagem C para comunicação com dispositivos através do protocolo Modbus/Ethernet em tempo real. SP, 2013.

MANUAL DO USUÁRIO, Manual De Instruções – V2.1 b, Disponível em:
<http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=946383&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=907280>. Acesso em: 11 set. 2016.

MANUAL DO USUÁRIO, Manual do Usuário do E3. Disponível em:
<<http://www.elipse.com.br/downloads/?mta=21,53>> Acesso em: 10 set. 2016.

MANUAL DO USUÁRIO, Manual do usuário dos controladores CompactLogix 1769, Publicação Rockwell Automation 1769-UM011I-PT-P – fevereiro 2013.

MANUAL DO USUÁRIO, Tabela de Registradores para Comunicação Serial V2.0x, Disponível em:
<http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaoID=946383&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=907280> Acesso em: 11 set. 2016.

MENDONÇA, M. R, Implementação do protocolo Modbus utilizando linguagem C. PR, 2009.

NATALE, Ferdinando. *Automação Industrial*. São Paulo: Érica, 2008. p. 1-200. (Brasileira de Tecnologia).

NATIONAL INSTRUMENTS, <http://www.ni.com/white-paper/7675/pt/>. Acesso em 06/09/2016.

PROGRAMMING MANUAL, Logix5000 Controllers Common Procedures. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm001_-en-e.pdf.> Acesso em: 10 ago. 2016.

PRUDENTE, Francesco. *Automação Industrial CLP - Teoria e Aplicações - Curso Básico*. Rio de Janeiro: Ltc, 2015. p. 1-200.

REVISTA MECATRÔNICA ATUAL N°42 Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1299-protocolo-modbus>, 2013.> Acesso em 04 ago. 2016.

SOUZA, A. V, O Protocolo Modbus, Cerne- conhecimento para desenvolvimento. Acesso em: 20 ago. 2016

TECHNICAL DATA, CompactLogix Controllers Specifications, Rockwell Automation Publication 1769-TD005J-EN-P - September 2015.

USER MANUAL, 1769-SM2 Communications Module Modbus , Rockwel Automation Publication 1769-UM013C-EN-P – June, 2010.

WEG, MANUAL DO USUÁRIO - Modbus RTU CLP 300. Data da Publicação: 2013.

METODOLOGIA PARA REDUÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM INDÚSTRIAS

Adrieli Ruviaro (Autor)

Luiz Antônio Cantarelli (Orientador)

Resumo: Os gastos com energia elétrica em empresas, principalmente indústrias, são relevantes, significando em torno de 40 % de todo custo envolvido no processo. Portanto, encontrar alternativas para redução destes gastos é importante. Na literatura, esta redução normalmente é abordada de duas formas distintas: aumentando a eficiência energética ou através da contratação estratégica de energia. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre estas duas formas de redução e partir disto é proposta uma ferramenta desenvolvida no Excel, buscando demonstrar a diminuição dos custos, os investimentos necessários e o tempo de retorno destes investimentos. Para fins de comprovar a funcionalidade são realizados estudos de casos mostrando a utilização da metodologia e comprovando a possibilidade de redução de custos considerando a inserção de um consumidor novo, bem como, a reavaliação de consumidor existente. Os resultados são significativos, já que a metodologia oferece diversas alternativas para realizar enquadramento e análise.

Palavras-chave: Eficiência energética. Tarifação de energia elétrica. Viabilidade. Economia.

INTRODUÇÃO

Os custos com energia elétrica têm sofrido constantes elevações, devido aos baixos níveis de chuvas de 2014 e 2015, assim intensificando o acionamento de termelétricas, que têm um custo mais elevado de produção, refletindo diretamente na fatura de energia elétrica. Capelli (2013) afirma que 47,8% da energia gerada se destina à indústria e nela, conforme Firjan (2016) representa até 40% dos custos de produção.

Com base nesses dados, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o mercado de energia e eficiência energética, bem como desenvolver uma ferramenta no Microsoft Excel com propósito de gerar relatórios de viabilidade econômica, de forma clara, para que seja possível visualizar a possível redução de custos a partir da escolha correta da modalidade tarifária, da forma de contratação de energia, e também avaliando dados da conta de energia.

Assim, proporcionando otimização na utilização da energia elétrica, diminuindo a parcela de energia ativa e conservando ou, ainda, melhorando a qualidade dos equipamentos, obtendo modernização e melhor desempenho dos processos e instalações, gerando redução na energia consumida, refletindo ativamente na atenuação dos custos finais da fatura de energia elétrica.

1 DESENVOLVIMENTO

O mercado de energia pode ser dividido em duas partes, livre e cativo. Responsáveis por entregar energia, possuem entre eles distintas maneiras de realizar contratos e valorar a energia elétrica ao consumidor final, conforme suas características.

O Mercado Livre de Energia, além de estimular a competitividade e liberdade na negociação tanto no consumo quanto na geração de energia, corresponde a 25% de todo mercado de energia brasileiro. Dentre os benefícios, o mais atrativo é a economia, podendo diminuir em até 20% dos custos, comparando ao valor pago pelos consumidores no mercado cativo. (ABRACEEL, 2016a, 2016b).

A demanda mínima para fazer parte do mercado livre deve ser igual ou superior a 500 kW e a tensão mínima de 2,3 kV, assim sendo nomeado como consumidor especial. Caso a demanda seja igual ou superior a 3000 kW este consumidor integra a classe livre. Caso o consumidor não atingir a demanda mínima é possível realizar a junção de duas ou mais cargas, nomeadas como comunhão de fatos se empregam as cargas em CNPJ diferentes, porém localizados lado a lado fisicamente, e comunhão de direito, quando são cargas pertencentes ao mesmo CNPJ, porém, em locais distantes, como filiais (ABRACEEL, 2016c; ANEEL, 2009).

No Mercado Cativo corresponde aproximadamente a 75% de todo consumo do país. A contratação é realizada de forma simplificada, onde o fornecimento de energia ocorre mediante pagamento mensal de uma única fatura, arrecadada pela tarifa de energia (TE) e pela tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) em R\$/kWh pela energia consumida e, em R\$/kW, pela energia demandada contratada, sem flexibilidade de negociação (ABRACEEL, 2016b; ANEEL, 2016b)

As tarifas são divididas por modalidades. Na convencional paga-se tanto pela demanda contratada quanto pela energia que consomem, destinada aos subgrupos A3a, A4 ou AS desde que tenham uma demanda inferior a 300 kW. Na modalidade hora sazonal verde enquadram-se os subgrupos A3a, A4 e AS, com valor fixo para qualquer nível de demanda contratada e, na tarifa de consumo, um valor no horário de ponta (03 horas diárias) e outro fora de ponta (demais 21 horas) no período úmido (dezembro a abril) e da mesma forma, para o período seco (maio a novembro). A hora sazonal azul obrigatória é aplicada aos consumidores dos níveis A1, A2, A3 e disponível a todos os consumidores do grupo A, considerando para a demanda e o consumo de energia, uma tarifa para o horário de ponta e outra para horário fora

de ponta no período úmido, bem como no período seco. É permitido contratar valores diferentes para o período seco e para o período úmido. (ANEEL, 2016b; PROCEL, 2011).

As bandeiras tarifárias são divididas em três perfis: na verde tarifa não sofre nenhum acréscimo, na amarela a tarifa sofre acréscimo de R\$ 1,50 para cada 100 kWh consumidos, e na vermelha acrescenta-se R\$ 3,00 para cada 100 kWh e R\$ 4,50 para cada 100 kWh consumido. (ANEEL, 2016c).

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para ser elaborada uma metodologia de eficiência energética industrial é necessário ter visibilidade e conhecimento dos processos de funcionamento dos equipamentos instalados. A correção do fator de potência é um dos métodos, podendo ser analisados os dados fornecidos pela conta de energia até o diagnóstico das instalações internas e, como os motores por si só em uma indústria são responsáveis por em torno de 75 % da demanda total, analisar a substituição por equipamentos com maior eficiência, é importante. (CAPELLI, 2013; MAMEDE, 2007).

Capelli 2013 explica que o triângulo das potências relaciona a potência ativa, reativa e aparente, sendo este conjunto responsável pela energia total drenada pela carga. A potência reativa pode ser denominada como o desperdício do sistema. A diferença entre a potência aparente e a ativa é o chamado fator de potência variando de 0 a 1, sendo que a ANEEL (2000) determina valor mínimo de 0,92 e, caso contrário, cobra-se por excedentes reativos. A solução para corrigir está em instalar bancos de capacitores diretamente na carga ou na entrada da baixa tensão baseados nos valores encontrados na conta de energia. (CAPELLI, 2013).

Para se obter maior eficiência energética, muitas vezes é necessárias substituir equipamentos existentes por novos, com tecnologias mais avançadas, oferecendo maior rendimento e menor consumo de energia. Dispor um desempenho adequado dos motores elétricos no ambiente industrial é de grande importância. Mas, em contrapartida, é necessário haver uma justificativa econômica para tal inserção, pois, a um valor a ser investido para aquisição, para isso, é de grande relevância realizar uma análise de viabilidade financeira. O intuito é analisar quanto tempo demora para o investimento se pagar se realizar a substituição de motores standard com carga nominal por motores de alto rendimento.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta trata-se de uma ferramenta elaborada no Microsoft Excel que se divide em dois principais perfis, tratados como “Consumidor Novo” e “Consumidor Existente”.

Ao determinar o perfil, quando se tratar de novas instalações o consumidor tem a opção de escolher entre o mercado livre se a demanda for igual ou superior a 500 kW ou ao mercado regulado independente de valor de demanda. No mercado cativo, conforme a classe de tensão de fornecimento há as opções de modalidades, caso for dos grupos A1, A2 e A3 são compulsoriamente enquadrados como modalidade hora sazonal azul, já os demais têm a possibilidade de contratar a modalidade convencional binômica caso a demanda seja inferior a 300 kW, ou ainda, contratar a tarifa hora sazonal verde ou azul. Determina-se o período de trabalho semanal e diário, preenche-se as demandas, as respectivas tarifas e impostos. Com estes dados é gerado automaticamente um relatório final, com os valores médios cobrados pela conta de energia elétrica caso a bandeira estivesse verde, amarela e vermelha nível 1 ou 2. Esta média equivale a um ano inteiro, considerados os diferentes períodos e horários, somando todos e dividindo pelo número de meses. Além desta média, existe a alternativa de reproduzir um gráfico comparativo com valores mês a mês, durante um ano. Quanto aos consumidores A3a, A4 e AS, a ferramenta oferece a opção de visualizar um gráfico como as três modalidades tarifárias juntas, apresentando o comportamento de cada uma, durante o período de um ano, somados todos os meses.

Para o perfil de consumidores existentes, a primeira análise é fator de potência, com o valor da energia ativa e reativa do mês determina-se o fator de potência, caso seja abaixo de 0,92, são preenchidos os campos com as horas de consumo no decorrer do mês, a demanda máxima e as tarifas de demanda e consumo ativa média. Com estes dados são determinados os custos e capacidade do banco de capacitores. Para análise do tempo de retorno do investimento, a ferramenta oferece preços atuais de bancos de capacitores WEG. A segunda análise trata-se da demanda de ultrapassagem, onde deve ser preenchido o valor da demanda contratada e da demanda de pico registrada, observando durante um ano, com a média de ultrapassagem determinada, é calculado uma nova demanda a contratar com a margem de ultrapassagem de 10% aceitável cubra o pico, assim, não precisando contratar uma demanda tão elevada, para fins de comparação, preencher os preços das tarifas de demanda e ultrapassagem, a diferença entre os preços se mantiver a mesma demanda com as ultrapassagens e se corrigir para o valor encontrado. A terceira opção é migrar mercado livre

de energia se possuir demanda superior a 500 kW. A quarta trata-se do comparativo com demais modalidades tarifárias apenas disponíveis para as classes de atendimento A3a, A4 e AS, sendo o processo semelhante ao consumidor novo. A quinta e última opção é a análise dos motores, dividida em duas, em primeiro a substituição por motores de alto rendimento, onde deve ser preenchidas características do motor existente e do motor de alto rendimento, com estes dados se dará o investimento total para substituir os motores, o tempo médio de retorno de investimento, o custo total em energia elétrica anual e mensal com os motores existentes e com os motores a substituir e a economia que geraria nos períodos analisados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações obtidas durante o decorrer da revisão, foi proposta a criação de uma ferramenta destinada a consumidores já ligados à concessionária, e também aos que pretendem efetuar contratação para reduzir os custos com energia elétrica. Os resultados são visíveis, como apresentados nos estudos de casos, conforme Ruviano (2016).

A ferramenta criada pode ser aplicada em diversas áreas em que se queira obter uma eficiência energética de forma simples e simplificada, como a análise do investimento em instalar geração de energia na ponta, instalações de processos de automação, substituir lâmpadas por de maior eficiência, entre outras. De forma a obter uma melhor qualidade das instalações elétricas e diminuir os custos com a energia elétrica, possibilitando otimizar o sistema elétrico em questão.

REFERÊNCIAS

ABRACEEL. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. *Em busca de conta de luz menor, 947 empresas migraram este ano. Varejistas e hotéis são a maioria*. 2016a.

Disponível em:

<http://www.abraceel.com.br/zpublisher/materias/clipping_txt.asp?id=186657>. Acesso em: 10 nov. 2016.

ABRACEEL. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. *Evolução do mercado brasileiro de energia elétrica*. 2016b. Disponível em:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WQBtj6DGtxUJ:www.abraceel.com.br/zpublisher/paginas/Download_file.asp%3Fnome%3D%257B889D962D-14CE-4C2C-BC46-E8587D3FD4F1%257D_Palestra_Rui_Altieri_-_Consumidores_Livres.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&client=firefox-b-ab>.

Acesso em: 10 nov. 2016

ABRACEEL. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. *Quem pode ser consumidor livre*. 2016c. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/consumidor_livre.asp>. Acesso em: 1º jul. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Nº 456. 29 De Novembro De 2000. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Resolucao%20456%20aneel.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa Nº376*. 25 de Agosto, 2009. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2009376.pdf> >. Acesso em: 10 jun. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Capacidade de Geração do Brasil*. 2016a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 02 nov. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa 414/2010 direitos e deveres dos consumidores e distribuidoras*. 2016b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/REN_414-Texto_Compacto-725-2016.pdf/3cc31bf8-4833-4d03-95d9-d93e902bef8c> Acesso em: 05 nov. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Por dentro da conta de luz*. 2016c. 7º Ed. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Por+dentro+da+conta+de+luz/9b8bd858-809d-478d-b4c4-42ae2e10b514>> Acesso em: 02 ago. 2016.

CAPELLI, Alexandre. *Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais*. 1. ed. São Paulo. Érica, 2013.

FIRJAN. *Quanto custa a energia elétrica para a pequena e média indústria no Brasil?* Julho, 2016. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A559C8BA001563303D3744A1B&inline=1>>. Acesso em: 05 set. 2016.

MAMEDE, João Filho. *Instalacoes Elétricas Industriais*. 7º Edição. Ltc Livros Tec Cientif. Rio de Janeiro. 2007.

PROCEL. *Manual de Tarifação da Energia Elétrica*. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

RUVIARO, Adrieli. *Metodologia para Redução do Custo de Energia Elétrica com Ênfase em Indústrias*. 2016.

COORDENAÇÃO E SELETIVIDADE DE PROTEÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA TENSÃO

Alex Dutra Colussi (Autor)

Aquiles Rossoni (Orientador)

Resumo: O setor elétrico brasileiro vem sofrendo muitas mudanças, surgindo metas e objetivos que padronizam os serviços prestados pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica. De modo a diminuir as interrupções e melhorar o fornecimento de energia, são empregados estudos de proteção coordenados e seletivos com objetivo de atenuar as interrupções no sistema de distribuição. Visando estes fatores, neste trabalho foi efetuado um estudo de proteção em um alimentador real de distribuição. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica. Após foi proposta uma metodologia que se aplica em estudos de proteção de alimentadores de distribuição. Foram apresentadas as características e a topologia do alimentador para o estudo de caso, além de apresentar o *software* utilizado para as análises. Por meio da simulação as proteções foram dimensionadas, foi efetuado o ajuste de coordenação e seletividade dos dispositivos de proteção e algumas melhorias foram propostas após a análise.

Palavras-chave: Interrupção no fornecimento de energia; estudo de proteção; coordenação e seletividade; distribuição de energia.

INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro vem sofrendo muitas mudanças, surgiram metas e objetivos que padronizam os serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica que são definidos pela ANEEL. Como consequência, tem-se um mercado mais competitivo, e mais exigente em relação à qualidade do serviço prestado.

Um dos problemas enfrentados pelas concessionárias do sistema de distribuição de energia elétrica, que atinge economicamente a qualidade dos serviços prestados, são as perturbações que afetam as redes elétricas e seus órgãos de controle, ocasionando interrupções desnecessárias no fornecimento de energia. Devido a estes problemas as concessionárias vêm empregando estudos de proteção com o objetivo de atenuar as anormalidades impostas ao sistema de distribuição e diminuir as interrupções no fornecimento de energia aumentando a satisfação do consumidor.

Tendo em vista estes problemas, este trabalho tem como objetivo geral propor uma metodologia de análise da proteção de sistemas de distribuição e efetuar um estudo de proteção de um alimentador real de distribuição de energia elétrica. Será efetuada a análise de um alimentador aéreo de distribuição utilizando ferramentas computacionais para as análises. A justificativa para este estudo é a necessidade de proteger as pessoas, os equipamentos e os

condutores do sistema de distribuição, porém, levando em consideração o desempenho da distribuidora no fornecimento de energia elétrica.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Os dispositivos de proteção dos alimentadores de distribuição apresentam características técnicas e operacionais próprias garantindo a proteção de determinado equipamento ou circuito.

De acordo com Mamede Filho (2016), a chave fusível/elo fusível é o dispositivo mais utilizado para proteção de redes aéreas de distribuição pois apresenta um baixo custo e garante proteção satisfatória. Os elos utilizados para proteção são classificados em três tipos: H, K e T. Os elos H são empregados somente para proteção de transformadores. Já os tipo K e T são utilizados para proteção de ramais do alimentador.

Outros dispositivos que também são empregados no sistema de distribuição são: o seccionizador e os religadores automáticos de distribuição. Segundo Pereira (2007) os dispositivos de proteção são projetados de modo que suas proteções atuem desconectando a parte com defeito do sistema. Para isso são efetuados estudos de coordenação e seletividade a fim de melhorar a qualidade no fornecimento de energia elétrica prestado ao consumidor.

Dentre as principais filosofias de proteção de coordenação do religador com os elos fusíveis há duas delas: durante uma eventual falta transitória a mesma seja eliminada pelo religador evitando a atuação do elo fusível; e a outra faz com que o elo fusível queime independente da falta (CPFL, 2016).

1.1 Dimensionamento de elos fusíveis para proteção de ramais do alimentador

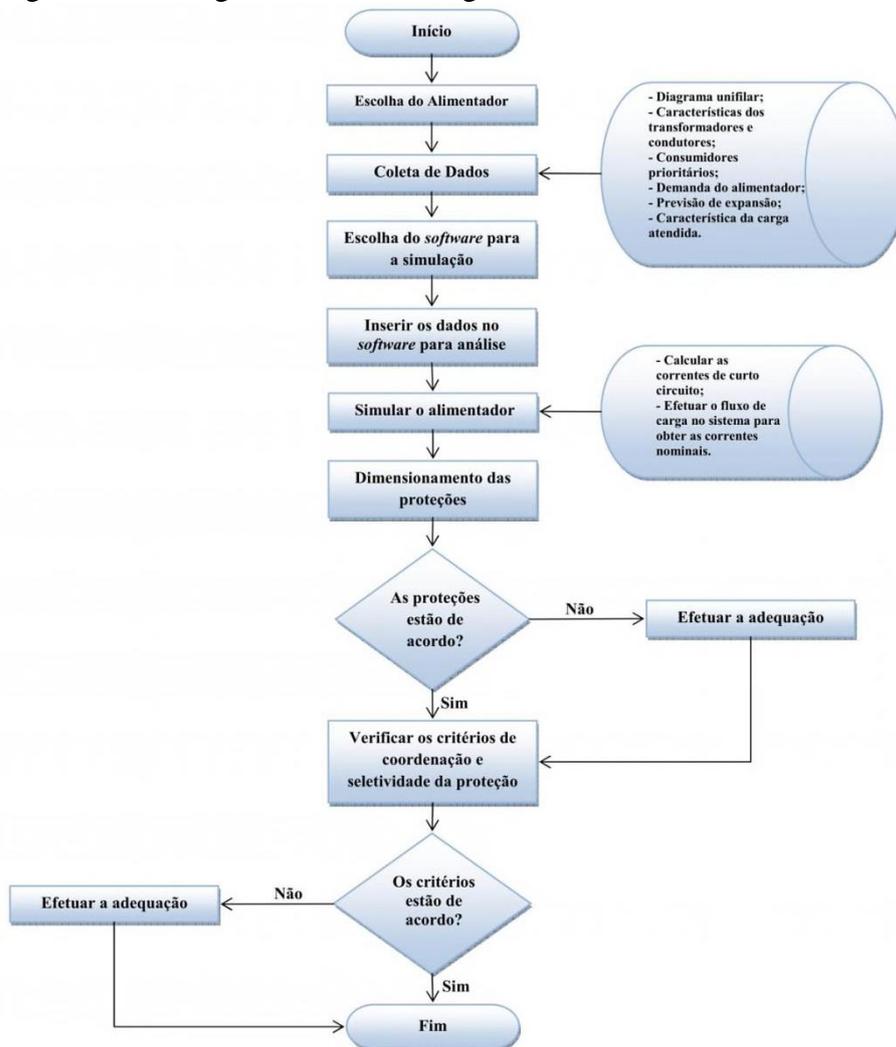
O dimensionamento dos elos fusíveis devem seguir alguns critérios básicos determinados por Mamede Filho (2016), sendo eles: prever o crescimento de carga em um período de pelo menos cinco anos, prever remanejamento de cargas em eventuais manutenções corretivas, a corrente nominal do elo fusível para a proteção de um ramal deve ser igual ou superior a 150% da corrente máxima de carga prevista no ponto de instalação da chave fusível, a corrente nominal da chave fusível deve ser igual a pelo menos 150% da corrente nominal do elo fusível, devem ser determinadas as correntes de curto-circuito trifásica, bifásica e fase-terra em todos os pontos onde serão instaladas as chaves fusíveis, a corrente nominal do elo fusível deve ser igual ou inferior a 25% da corrente de curto-circuito

fase-terra mínima que ocorrer no fim do trecho e devem ser determinadas as correntes de cargas máximas em cada trecho da rede de distribuição. O dimensionamento de religadores é dado de forma semelhante, e pode ser visto em Mamede Filho (2016).

2 METODOLOGIA

Os procedimentos que devem ser seguidos para a elaboração de qualquer estudo de proteção de alimentadores de distribuição estão expostos na Figura 1 de acordo com a metodologia proposta neste trabalho.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia.



3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem como objetivo efetuar um estudo de proteção de um alimentador de uma distribuidora de energia elétrica. Neste trabalho foi utilizado o *software ETAP* para efetuar as análises.

O alimentador possui uma característica construtiva radial localizado em área rural, os níveis de tensão operacional é de 23,1 kV para a tensão primária e de 440/380/220 V na tensão secundária. A predominância de carga do alimentador é de residências e uma pequena parcela de consumidores industriais. Ao todo são 161 transformadores de distribuição que atendem um total de 574 consumidores. Para a proteção dos ramais ao longo do alimentador estão instaladas 34 chaves fusíveis.

3.1 Coordenação entre elos fusíveis

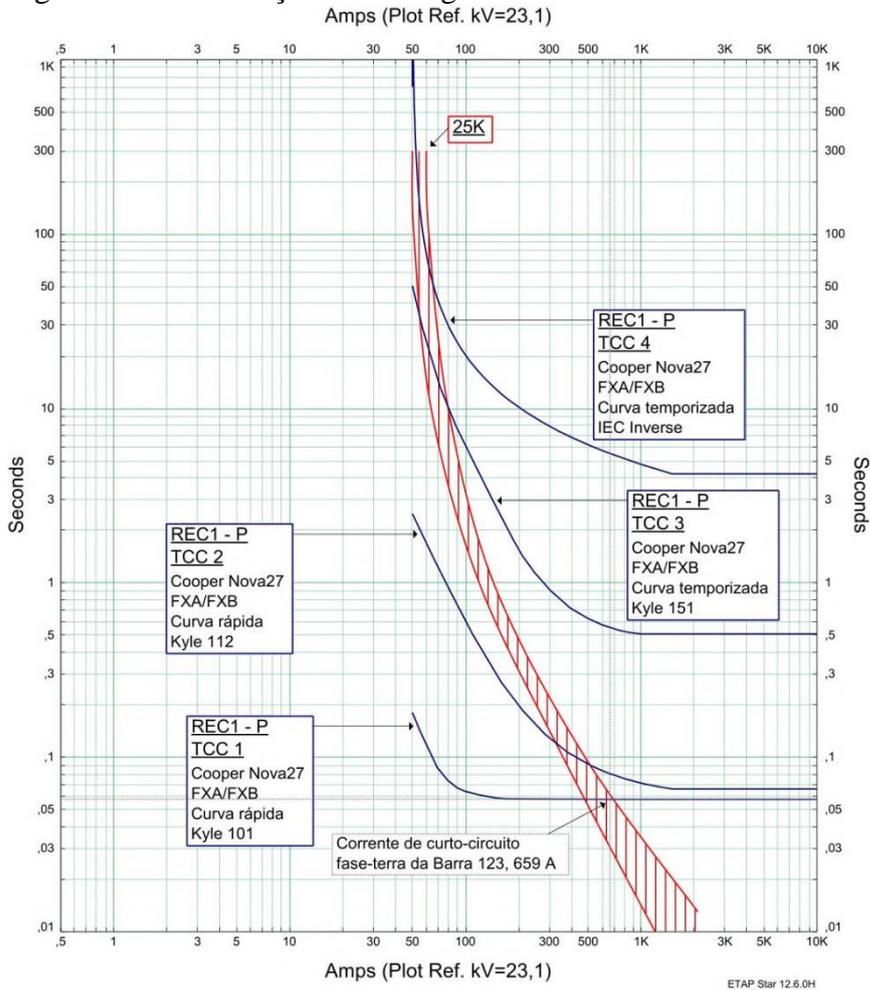
A coordenação entre os elos fusíveis de proteção dos ramais deve seguir os critérios de coordenação: o tempo de interrupção do elo fusível protetor deve ser no máximo 75 % do menor tempo de atuação de fusão do elo fusível protegido, acima de dois elos fusíveis em série a coordenação entre si torna-se impraticável, sempre que possível reduzir o número de elos fusíveis a fim de permitir ampliar a faixa de coordenação entre os dispositivos protetor e protegido e o elo fusível protegido deve coordenar com o elo fusível protetor, considerando a menor corrente de curto-circuito fase-terra no ponto de instalação do fusível protetor. A coordenação entre religadores e elos fusíveis é feita de forma semelhante, conforme pode ser visto em Mamede Filho (2016).

Por meio da análise da simulação e utilizando os critérios do referencial teórico é efetuado o dimensionamento dos elos fusíveis para proteção dos ramais do alimentador e verificada a coordenação entre os elos existentes. Na Tabela 1 estão contidas as chaves fusíveis comparando os elos fusíveis existentes e os elos dimensionados após as análises, sugerindo algumas melhorias.

Como exemplo, a verificação da coordenação entre um religador com um elo fusível de 25 K para uma determinada corrente de curto-circuito de 659 A é apresentado na Figura 2. Conforme pode ser observado, o elo fusível será protegido pela primeira atuação do religador no disparo da curva rápida de fase. De forma semelhante foram realizadas análises para os demais pontos do sistema, considerando também a coordenação entre fusíveis. Algumas

melhorias foram propostas após a análise, como substituição ou retirada de fusíveis e adequação da atuação do religador.

Figura 3 – Coordenação entre religador e elo fusível.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 – Chaves fusíveis comparando os elos fusíveis existentes e os elos fusíveis dimensionados.

Chave Fusível					
Número do Equipamento	Elo Fusível Existente	Elo Fusível Dimensionado	Número do Equipamento	Elo Fusível Existente	Elo Fusível Dimensionado
1065	6K	10K	1010	6K	6K
0912	10K	15K	0798	6K	6K
0843	6K	6K	0779	10K	6K
0671	10K	15K	0802	6K	6K
1019	6K	6K	0532	25K	25K
0866	6K	6K	0533	15K	15K
0863	10K	6K	0534	6K	6K
0357	6K	6K	0791	6K	6K
0862	6K	6K	0792	6K	6K
1314	6K	6K	1284	6K	6K
0835	6K	6K	0504	10K	6K
0867	20K	6K	0503	6K	6K
0731	6K	6K	0502	10K	6K
0766	6K	15K	0816	6K	6K
1077	6K	6K	0660	10K	6K
0535	15K	6K	0760	6K	6K
0165	10K	6K	0388	6K	6K

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do trabalho foi obtida uma metodologia na qual buscou-se abordar de forma mais clara e objetiva os procedimentos a serem seguidos para a elaboração de estudos de proteção em alimentadores de sistemas de distribuição. O objetivo do trabalho foi alcançado, visto que foi possível fazer o dimensionamento e as análises de coordenação e seletividade entre os dispositivos localizados no alimentador. Os resultados obtidos mostram que é possível efetuar a substituição de alguns equipamentos de proteção a fim de melhorar a coordenação e seletividade entre si.

REFERÊNCIAS

- CPFL. *Proteção de Redes Aéreas de Distribuição – Sobrecorrente. Norma Técnica nº 2912, versão 2.1.* Disponível em <<http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2912.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.* – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2016
- PEREIRA, Dejanir Ricardo. *Um sistema de software para execução de estudos de coordenação e seletividade em sistemas de distribuição.* 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

REGULADOR DE TENSÃO AUTOMÁTICO POR COMUTAÇÃO DE TAPS APLICADO A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO MONOFÁSICOS

Carlos Antônio Souza (Autor)

Hamilton Confortin Sartóri (Orientador)

Resumo: Os transformadores de distribuição são responsáveis por entregar ao consumidor final a tensão adequada, estabelecida pelo PRODIST. Porém, ao longo da distribuição ocorrem variações de tensão providas de fenômenos climáticos, impedâncias da rede e etc. Com essas variações, aplica-se o método de comutação de taps em transformadores, permitindo a regulação da tensão variando a relação de transformação no enrolamento primário, modificando o valor da tensão secundária. Majoritariamente, essa aplicação realiza-se através de dispositivos mecânicos de comutação manual nos sistemas de distribuição e dispositivos automáticos eletromecânicos de comutação sob carga em subestações. Fatores limitantes, como o custo e a manutenção, impossibilitam a regulação automática de tensão por meio destes. O trabalho apresenta a análise e projeto de um regulador de tensão automática por comutação de taps, aplicado a transformadores de distribuição. Resultando em uma implementação de um protótipo, visando representar somente a lógica de comutação automática, para o ajuste da tensão.

Palavras-chave: Regulador de tensão; Comutador de taps; transformador de distribuição; microprocessador.

INTRODUÇÃO

Os transformadores, com o passar do tempo, foram aperfeiçoando seus processos construtivos, objetivando sempre o mínimo de perdas possíveis na conversão da energia elétrica. Suas aplicações são variadas, pois eles interconectam desde a geração da energia elétrica nas usinas hidrelétricas, até a distribuição final para os consumidores. Se tratando de sistemas de distribuição, aplicam-se transformadores de distribuição, afinal a tensão que passa por estes transformadores influencia diretamente nos padrões de qualidade de energia (QUEVEDO, 2014). Em função dos diversos avanços obtidos ao longo dos anos, a regulação de tensão ainda é um sério problema de qualidade de energia enfrentado pelas concessionárias de energia. Os eventos que resultam, principalmente, de faltas no sistema de potência, manobras na rede elétrica e partidas de grandes cargas ou até mesmo de fenômenos climáticos, como tempestades e etc, (DUGAN, MCGRANAGHAN, et al, 2012). A presença dessas variações de tensão nos sistemas de distribuição prejudica os indicadores de qualidade da companhia concessionária de energia, além de causar insatisfação dos consumidores. Em função destes problemas de variação de tensão aplicam-se desde os primeiros sistemas de distribuição os comutadores de *taps* em transformadores de distribuição. Estes comutadores são empregados

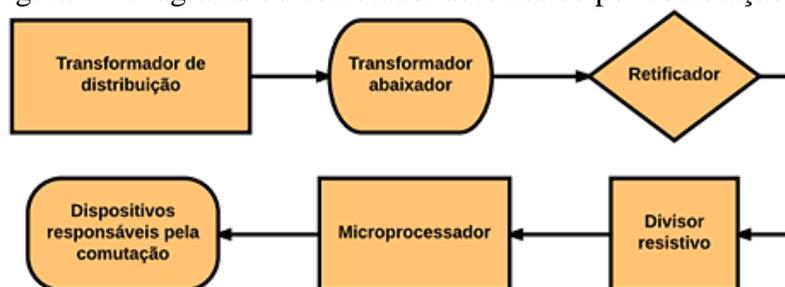
para ajustar a relação de transformação destes transformadores de modo que os consumidores finais sejam atendidos com uma tensão de fornecimento adequada às normas estabelecidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasil). No intuito de melhorar a qualidade de energia para o consumidor, o desenvolvimento dos dispositivos de comutação de taps apresenta grande potencial de aplicação na solução dos problemas atuais e futuros relacionados à regulação de tensão. O trabalho apresenta a análise de um protótipo regulador de tensão automática por comutação de taps, aplicado a transformadores de distribuição. Resultando em uma implementação visando representar somente a lógica de comutação automática.

1 DESENVOLVIMENTO

A distribuição feita pelas concessionárias de energia tem a obrigação de controlar certos parâmetros da qualidade da energia, de forma a garantir que os usuários tenham à disposição a energia necessária para a utilização. Cabe também a empresa de distribuição de energia elétrica fiscalizar os índices de qualidade de energia, de forma a manter os serviços aos seus clientes, tomando providências quando for necessário. Sabe-se que a regulação de tensão em transformadores de distribuição é realizada atualmente por comutadores de *taps* que operam mecanicamente a vazio.

Também há comutadores eletrônicos que operam com o transformador energizado. Estes métodos responsáveis por mudar a relação de transformação, através do número de espiras do primário, selecionando o *tap*, que atende a tensão desejada no secundário. O regulador proposto é desenvolvido com base nas características dos comutadores eletrônicos existentes, entretanto, o comutador desenvolvido apresenta menores custos e maior vida útil por sua robustez. A seguir, na Figura 2, apresenta um esquema geral do regulador.

Figura 4 - Diagrama do comutador automático por comutação de taps proposto.

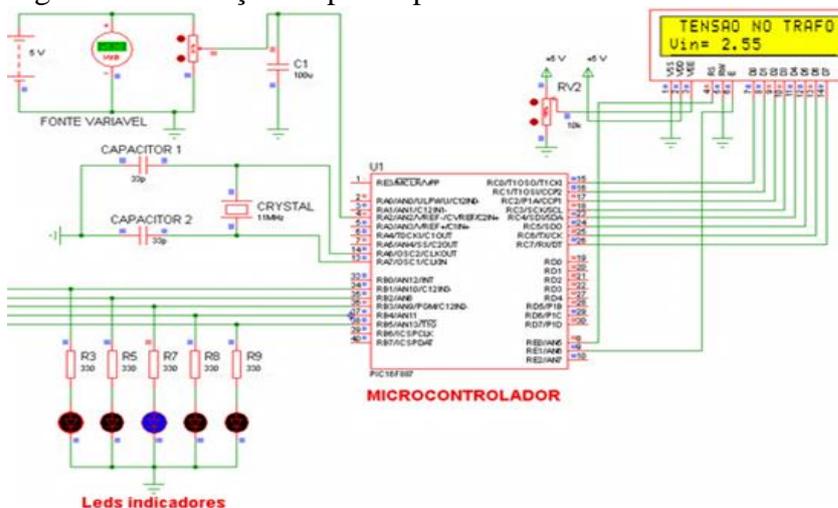


Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma como trata os níveis de tensão estabelecidos pelo PRODIST, cada *tap* é atribuída uma faixa de limite de tensão, no tap 1 limita-se em 198 V, no tap 2 em até 202 V, no tap 3 em até 220 V, no tap 4 em até 232 V e no tap 5 em até 300 V.

A Figura 3 mostra a simulação que se refere à escala em até 5 V, correspondente à tensão máxima de 300 V. Na simulação é adotada uma fonte CC de bancada ajustável que representará tanto o transformador, quanto os estágios que processam esta tensão até ser entregue para a leitura no microprocessador. A tensão lida nesta escala de até 5 V, a tensão mostrada no *LCD* da figura é equivalente a 2,55 V, então permanece dentro da faixa tolerável. O circuito de medição possui um capacitor aplicado como filtro em série na medição, ou seja, na tensão lida na entrada do regulador, este tem a função de filtrar e estabilizar o período de amostragem que significa o tempo de aquisição e checagem da tensão lida. As saídas analógicas, representando os taps, possuem leds indicadores, classificados em cinco estados. Como a tensão em até 2,2 V significa estado crítico de tensão, com a tensão de 2,3 V até 2,49 V significa estado de alerta, com a tensão de 2,5 V até 3,1 V significa estado ideal, com a tensão de 3,2 até 4 V significa estado de alerta e com a tensão acima de 4,1 V até 5 V significa estado crítico de tensão. A lógica adotada é que todos estes taps estão ligados a derivações e de acordo com tensão lida classificada em estado ideal, alerta e crítico, assim supõe-se que retirando ou acrescentando espiras, poderá ajustar a tensão conforme o desejado. Sendo que a programação em C foi realizada no *Proteus* na plataforma *CCS Compiler*, juntamente com a parte física na plataforma *Isis*.

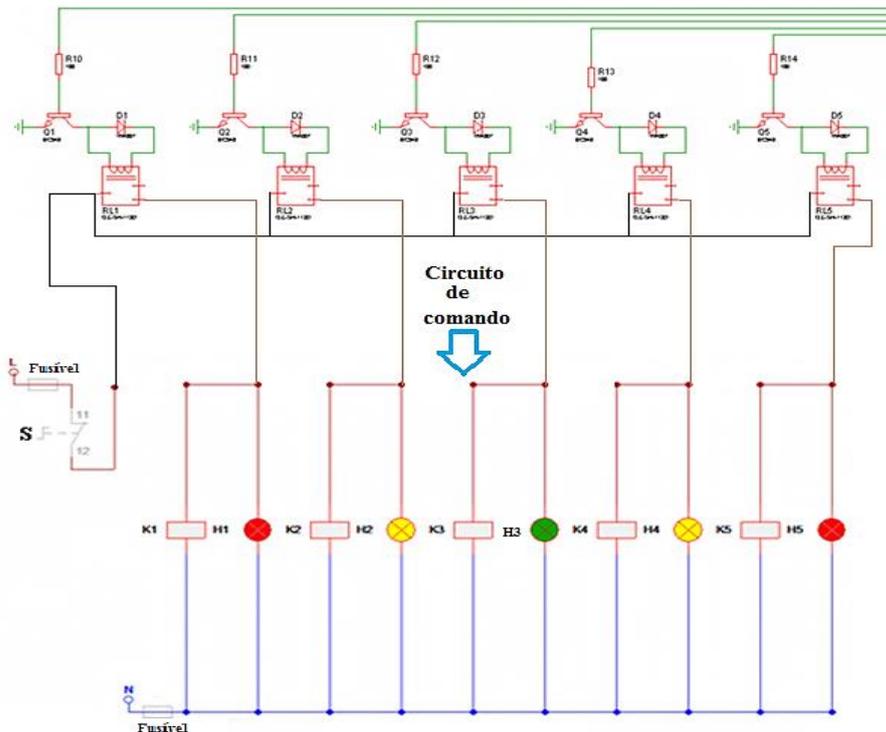
Figura 5 - Simulação do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

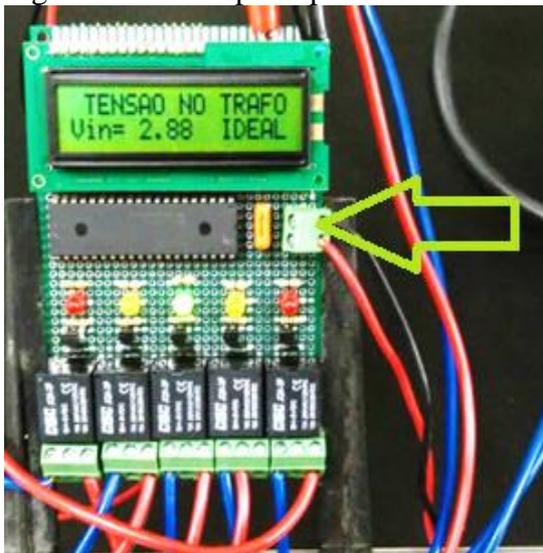
Os dispositivos de comutação são responsáveis por representar a seleção de taps automática, para isto são definidos alguns componentes que irão substituir as contadoras a vácuo mencionadas no regulador automático proposto. De acordo com os cinco pinos, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5 do microprocessador convencionados com saídas analógicas, representam os cinco taps responsáveis pelas derivações. Na Figura 4, apresenta o diagrama de comando (indicado pela seta) e sinalizações das contadoras (realizados no software, CADe Simu 2.0), que são alimentadas pela rede 220 V_{CA}, respectivamente representadas sob a identificação de cada estado, pelas lâmpadas (H). A lâmpada H1 representa estado crítico, H2 representa estado de alerta, a H3 seria o *tap* central (ideal), a H4 estado de alerta e a H5 estado crítico. Os fusíveis de proteção são apresentados, o botão de emergência que interrompe a fase é representado por S, fase (L) e neutro (N). Ainda na Figura 4, apresenta um botão de emergência para as cinco contadoras (supostos taps), porém a fase passa primeiro internamente no relé 5 V_{CC}, e depois alimenta a bobina da contadora 220 V_{CA}. Assim as contadoras ficam sendo comandadas pelo relé, que está sob a ordem dos pinos de saída do microprocessador.

Figura 4 - Simulação do acionamento dos cinco relés interligado com o circuito de comando das contadoras.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Protótipo implementado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando as características de operação, os dispositivos de comutação automática de *taps* são vistos como potenciais agentes de melhoria da regulação de tensão em sistemas de distribuição. No entanto, vale ressaltar que apesar de trabalhos que foram desenvolvidos a respeito de comutadores automáticos de *taps*. Ainda são necessários estudos para que, de fato, se torne possível à aplicação destes dispositivos em sistemas de distribuição, buscando sempre altos rendimentos em processos deste modo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na literatura, atual apresenta inúmeras topologias de comutadores de *taps*, cada qual com suas características específicas. Este trabalho propôs um protótipo regulador de tensão automático por comutação de *taps*, que pode ser empregado nos transformadores de distribuição. A topologia do comutador automático por comutação de *taps* proposto foi definida pela composição de cinco contadoras de média tensão em associação antissérie, cada qual responsável por um *tap*. Os dispositivos de acionamento que foram aplicados no regulador são da mesma classe de isolamento e tensão suficientes para resistirem às especificações do transformador monofásico. Destacam-se como principais características do sistema automático proposto: fácil manutenção, regulação da tensão em tempo real e alta velocidade de comutação. Como desvantagens, pode-se citar maior complexidade e custo de implementação (quando comparado a sistemas manuais) e menor robustez. Da maneira que foi confeccionado o protótipo regulador, possibilitou a representação da regulação da tensão secundária, conforme os limites estabelecidos pelo PRODIST. Portanto, o protótipo desenvolvido apresenta um

potencial de representação para aplicações de comutadores automáticos de taps, aplicados em sistemas de distribuição rurais monofásicas. Também como alternativa, têm-se aplicações em regiões urbanas, com problemas de regulação de tensão. Este trabalho apresenta um tema importante na atualidade, tratando-se de soluções para problemas de regulação de tensão em sistemas de distribuição. Por fim, destaca-se a aplicação do sistema abordado, que pode ser expandido também para sistemas de distribuição trifásicos.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST - Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica, Brasil, 2012b.

DUGAN C. Roger, MCGRANAGHAN Mark F., SANTOSO Surya, BEATY Wayane H. - *Electrical Power Systems Quality* – 1º Ed, Editora Mc Graw Hill Education, 2012.

MARTINHO, Edson. *Distúrbios da Energia Elétrica*. 3º Ed. São Paulo: Editora Érica, 2013.

QUEVEDO, Josemar Oliveira, *Comutador eletrônico de taps aplicado a um transformador de distribuição monofásico*. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS - Brasil, 2014.

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE FLUXO DE CARGA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO EM CONDIÇÕES DE CONTINGÊNCIA

Cleber Cezar (Autor)

Aquiles Rossoni (Orientador)

Resumo: Com a criação das entidades regulamentadoras para o setor elétrico, as concessionárias obrigam-se a investirem nas redes de distribuição, pois seus índices de desempenho são medidos e são fatores determinantes para acarretar em penalidades ou compensações tarifárias aos clientes. As normativas preveem multas consideráveis para o descumprimento de indicadores de continuidade, diante disso, as concessionárias partem para investimentos em melhorias de alimentadores, bem como a aplicação de equipamentos com chaveamento e transferência de fluxo de cargas remotamente. Este trabalho propõe uma metodologia de análise da viabilidade de transferência de fluxo de carga em redes de distribuição em situações de contingência. O método analisa se as tensões e as correntes estão dentro dos requisitos mínimos no sistema para cada configuração considerada. A análise de fluxo de carga foi desenvolvida em *software* Matlab e aplicada em alimentadores de distribuição reais.

Palavras-chave: Distribuição de Energia Elétrica, Transferência de Fluxo de Carga.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica é um elemento vital para o progresso da humanidade. Pensando nisso, os países investem no setor de geração, transmissão e distribuição de energia, dando autonomia às entidades de direito privado, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão capaz de fiscalizar e ditar regras regulatórias com o objetivo de disciplinar as tarefas do setor elétrico por meio de resoluções. Através de investimentos, as empresas buscam atender os índices de fornecimento estabelecidos pelas normativas. Os equipamentos contribuem para melhorar o desempenho e a confiabilidade do setor, de modo a diminuir o impacto sentido pelos consumidores em um possível desligamento do sistema (FERREIRA, 2009). Desta forma, é necessário modelar e analisar o sistema para diferentes configurações e carregamentos, verificando se o estado obtido do sistema se encontra dentro dos limites estabelecidos com relação à qualidade do produto (nível de tensão entregue aos consumidores) e capacidade do sistema (corrente máxima nos condutores).

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Kagan, Oliveira e Robba (2010), os alimentadores de distribuição são conectados diretamente ao barramento das subestações e formam uma malha elétrica, formada por cabos e postes com transformadores em suas ramificações. Também é comum encontrar banco de capacitores (BC) e reguladores de tensão (RT), utilizados para correção de tensão e redução de perdas nas redes. Adicionalmente, chaves de manobras ou religadores (CH) permitem um aumento da flexibilidade ao aumentar o número de circuitos que podem absorver a carga de um circuito em contingência para os casos de faltas ou manutenções previstas.

1.1 Aspectos de qualidade de serviço e produto

No PRODIST, os conjuntos elétricos são avaliados de acordo com a continuidade do fornecimento de energia em sua região (qualidade de serviço), ou seja, pelos indicadores de duração e frequência de interrupção de energia. Os indicadores coletivos de continuidade são a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por unidade Consumidora (FEC) (ANEEL, 2016). Além desses indicadores de qualidade de serviço, são abordados aspectos relativos à qualidade do produto de energia elétrica, dentre eles a tensão de regime permanente (TL), conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 2 – Pontos de conexão em tensão nominal entre 1 kV e 69 kV.

Tensão de atendimento (TA)	Faixa de variação da tensão em relação à tensão de referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL \leq 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90$ ou $TL > 1,05TR$

Fonte: ANEEL (2016).

1.2 Modelos dos elementos dos sistemas de distribuição

Os elementos básicos dos sistemas de distribuição são linhas aéreas, cargas, bancos de capacitores e reguladores de tensão. As linhas aéreas apresentam parâmetros de impedância em série e de capacitância em derivação. De forma geral, em sistemas de distribuição, adota-se o modelo π para as estas linhas. As cargas do sistema podem ser modeladas de diversas

formas, o modelo de corrente constante é comumente aplicado a consumidores residências. Os banco de capacitores pode ser modelado como impedâncias constantes e o barramento da subestação como uma fonte de tensão constante (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA 2010). Para finalizar, o regulador de tensão é modelado por um autotransformador e um mecanismo de alteração de *tap* (KERSTING, 2001).

1.3 Análise de sistemas de distribuição

Os sistemas de potência em condições normais de operação e em regime permanente são analisados através do fluxo de carga. O estudo do fluxo de carga é a resolução do circuito elétrico que representa a rede através de sua topologia e dos modelos dos elementos. A finalidade do estudo é obter, principalmente, os resultados das tensões nas barras e as correntes e potências que fluem pelos trechos da rede.

De acordo com Kersting (2001), o método de fluxo de carga por varredura é um método iterativo aplicado a sistemas de distribuição. O método consiste em varrer o alimentador sequencialmente das cargas a subestação e da subestação às cargas, calculando as tensões e as correntes, até que o método venha a convergir. Os últimos valores calculados para as tensões e correntes são a solução do sistema.

2 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida é resumida através do diagrama da Figura 1. Esta consiste em adquirir os dados do sistema, processá-los utilizando a ferramenta computacional Matlab e obter os resultados para verificar a viabilidade da transferência de fluxo de carga. As tensões e correntes de regime permanente devem atender, respectivamente, aos limites estabelecidos pelo PRODIST e pelos cabos.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo deste trabalho consiste em analisar dois alimentadores reais vistos na Figura 4. Os alimentadores foram analisados quanto aos seus desempenhos em relação à continuidade dos serviços prestados e às opções de manobras em possíveis ocorrências de contingência.

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados de um dos estudos realizados, onde o alimentador FWE assume as cargas dos alimentador KGT. A condição apresentada considera a

recondutoração do alimentador FWE com a utilização do condutor 4/0 CAA Pinguin. Os gráficos da Figura 3 apresentam que a tensão (imagem acima) é atendida e a corrente não ultrapassa o limite do condutor (imagem inferior).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta permite identificar a viabilidade de transferência de fluxo de carga em condição de contingência, permitindo analisar para quais configurações existe a possibilidade de executar manobras, e ainda através dos dados colhidos é possível propor estudos e melhorias que viabilizem as demais condições do sistema.

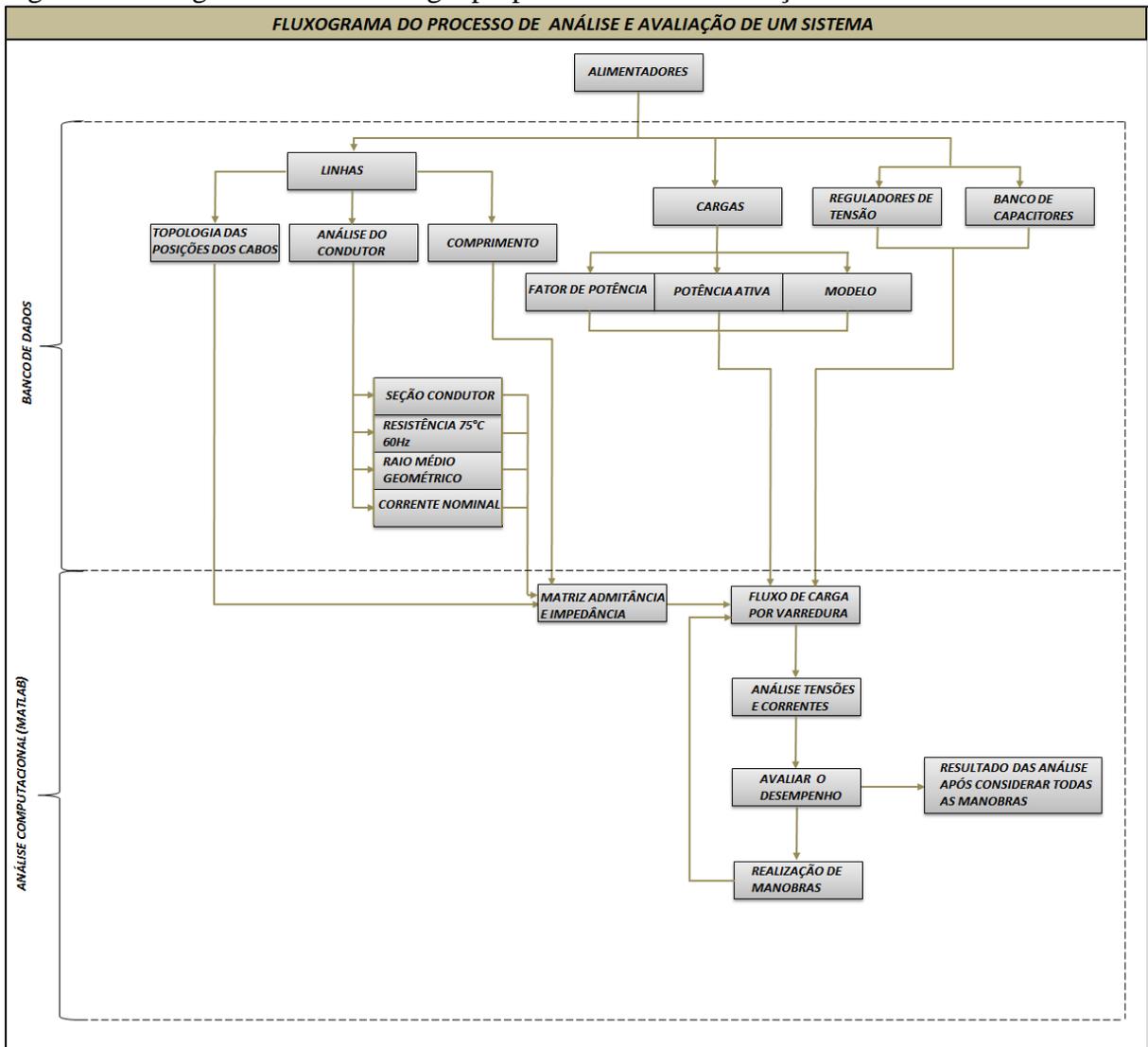
REFERÊNCIAS

KAGAN, N; OLIVEIRA, A NELSON. *Introdução aos sistemas de distribuição de Energia Elétrica*. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

KERSTING, W. H. *Distribution system modeling and analysis*. Boca Ratón: CRC Press, 2001. 314p.

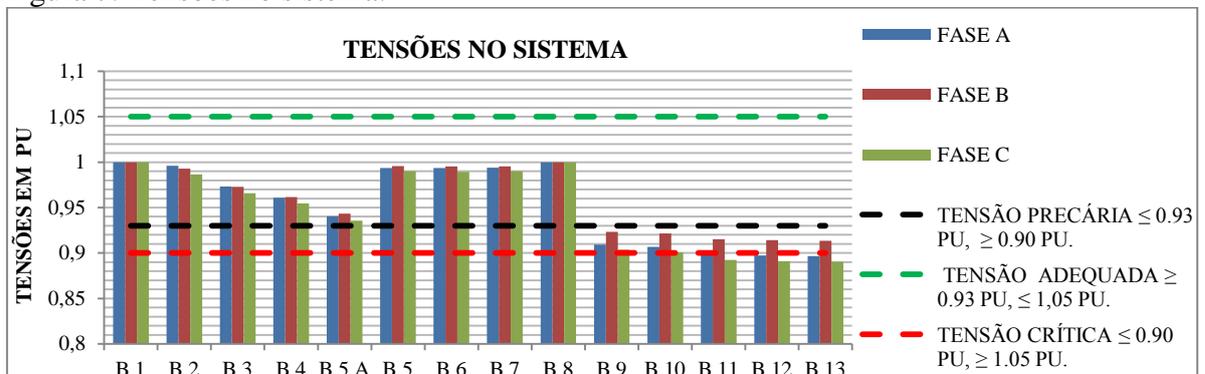
FERREIRA, G. D. *Otimização da Confiabilidade do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica: Uma abordagem considerando a seleção e alocação de Dispositivos de Proteção e Manobras*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2009.

Figura 6: Fluxograma da metodologia proposta: análise e avaliação de um sistema.



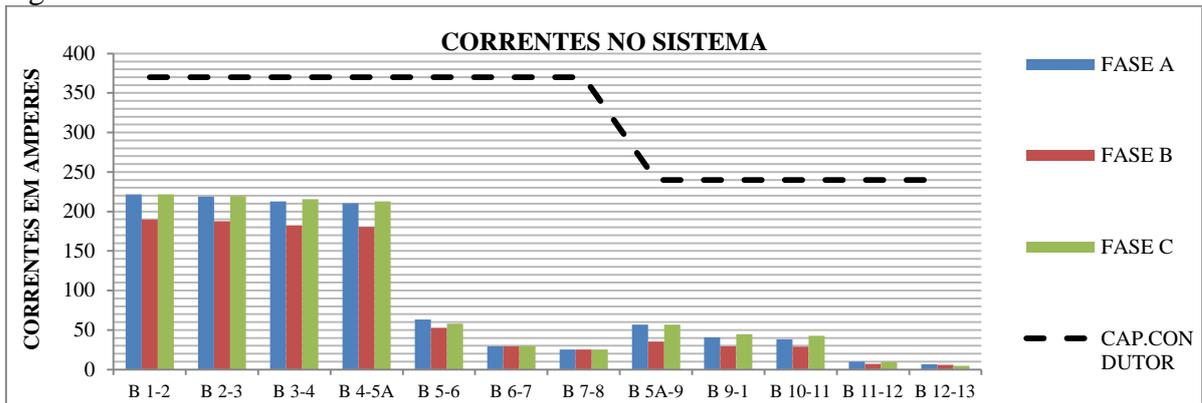
Fonte: Autor.

Figura 7: Tensões no sistema.



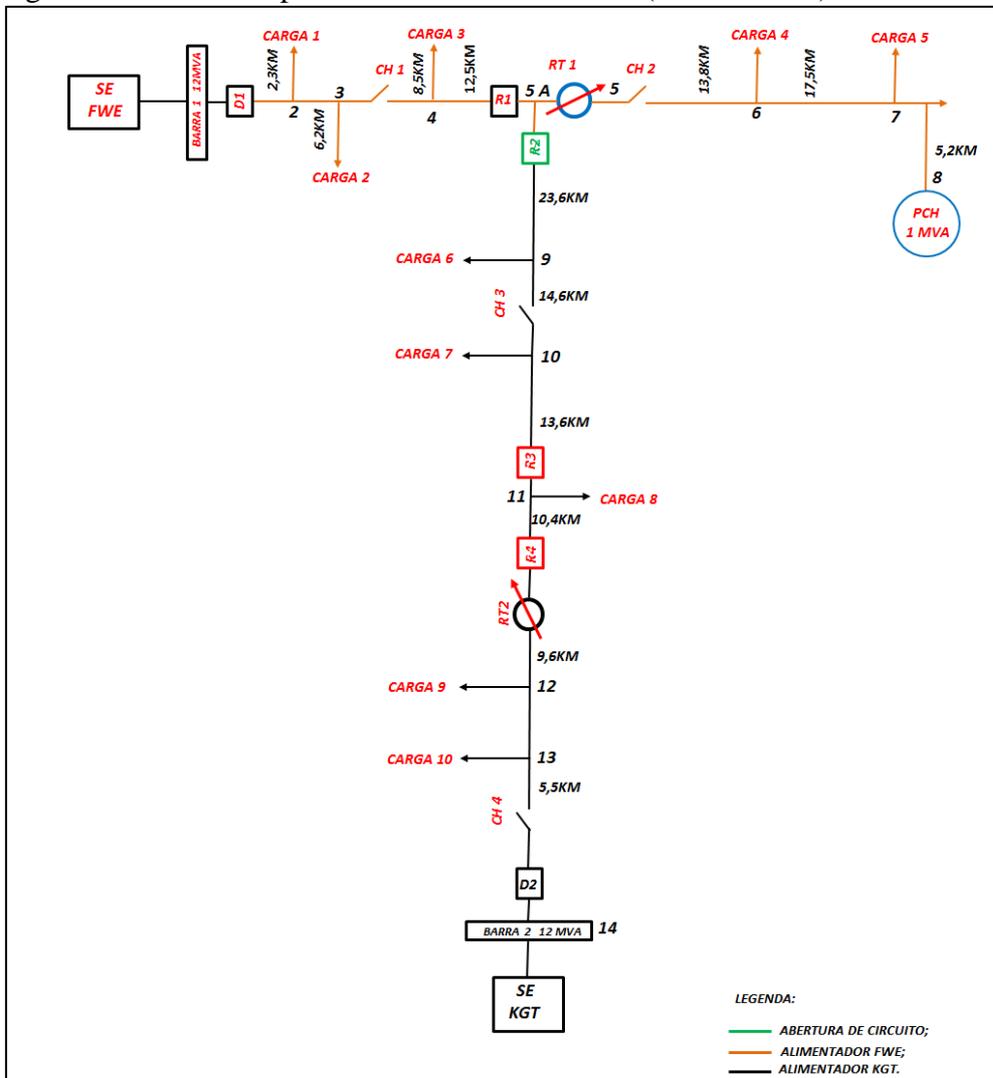
Fonte: Autor.

Figura 8: Correntes no sistema.



Fonte: Autor.

Figura 9: Sistema simplificado dos alimentadores (FWE e KGT).



Fonte: Autor.

SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO

Elisandro Ues (Autor)

Aquiles Rossoni (Orientador)

Resumo: As subestações de energia são de suma importância no sistema de abastecimento de energia elétrica do país. Tendo em vista que na ocorrência de falhas elétricas, um mau dimensionamento do sistema de proteção pode gerar danos severos aos elementos da subestação de energia, este trabalho apresenta como foco os elementos voltados ao sistema de proteção. Visando obter a proteção dos equipamentos da “subestação” o presente trabalho tem como objetivo propor uma metodologia de ajuste, coordenação e seletividade de proteções de sobrecorrente de subestações e ajuste de proteção diferencial de transformadores. Por fim é apresentada a realização de um estudo de caso baseado em dados de uma futura subestação de energia, executando-se a aplicação da metodologia de ajuste com o auxílio do programa computacional MATLAB, para a execução de cálculos e plotagem das curvas de atuação das proteções.

Palavras-chave: Subestação, proteção, coordenação, seletividade e análise.

INTRODUÇÃO

Segundo Kagan, Oliveira, Robba, (2010), a energia elétrica gerada no Brasil é predominantemente oriunda da produção em usinas hidroelétricas afastadas dos centros de consumo, tornando-se imprescindível a existência de subestações de energia para a elevação e rebaixamento da tensão visando à redução de perdas de energia na transmissão e distribuição.

O sistema elétrico de potência, incluindo as subestações, sofrem falhas nos componentes que podem ser originadas por erro humano, descargas atmosféricas, sobrecargas nos equipamentos, entre outros, resultando em interrupções no fornecimento de energia. Deste modo, a principal função de um sistema de proteção é assegurar a desconexão de todo sistema elétrico ou parte dele submetido a qualquer anormalidade que o faça operar fora dos limites previstos (MAMEDE FILHO, 2014).

O mau dimensionamento e o ajuste incorreto da proteção podem resultar na não atuação em condição de falha ou a operação de forma indevida.

Dados os pontos apresentados, este trabalho tem como objetivo geral apresentar os aspectos relativos ao dimensionamento e ajuste do sistema de proteção de subestações de energia (SE), propondo uma metodologia de dimensionamento, ajuste e verificação da coordenação das proteções de sobrecorrente e dimensionamento e ajuste da proteção diferencial.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

As subestações podem atuar como subestação de distribuição, seccionadora, conversora ou de transformação, sendo definida como um conjunto de equipamentos elétricos interligados de modo que sua principal função é garantir a qualidade e a confiabilidade do sistema elétrico, desativando circuitos avariados ou sob faltas (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA, 2010).

As classificações de uma subestação de energia podem ser associadas de acordo com a finalidade e capacidade de operação, tipo de instalação e quanto ao nível de tensão. Dentre os principais componentes que constituem uma subestação de energia elétrica, podemos citar os barramentos, os equipamentos de transformação e de compensação e os equipamentos de proteção, sendo tomado como foco os equipamentos de proteção (MAMEDE FILHO, 2011).

1.1 Sistema de proteção das subestações

O sistema de proteção pode ser definido como um conjunto de elementos destinados à proteção dos equipamentos que constituem a SE quando os mesmos forem submetidos a faltas ou qualquer anomalia que venham a comprometer seu funcionamento. Estes equipamentos de proteção podem ser divididos em equipamento de disjunção e de atuação, sendo os relés elementos responsáveis por realizar a leitura no sistema de potência e, ao detectar uma falta, atuar automaticamente sobre os disjuntores e chaves seccionadoras, elementos esses responsáveis pela desconexão do circuito afetado pela falta (MAMEDE FILHO, 2011).

Os principais elementos de proteção são os relés de sobrecorrente de fase e neutro (50/51 e 50/51N), relé de sobrecorrente de terra (50/51 G) e relé diferencial do transformador (87).

1.2 Seletividade e coordenação

A seletividade é a característica que o sistema de proteção deve ter para que, ao sofrer uma anomalia, faça atuar somente o dispositivo mais próximo dessa anomalia, de maneira à desenergizar somente a parte do circuito afetado. O conceito coordenação está associado a ordenação entre as atuações dos relés, visto que caso haja uma falha na atuação do relé mais próximo ao defeito, o elemento de proteção a montante será o responsável pela atuação. A seletividade de um sistema pode ser efetuada por meio de três diferentes formas:

amperimétrica, cronométrica e lógica. A seletividade cronométrica admite um intervalo de coordenação de 300 ms (MAMEDE FILHO, 2014).

1.3 Ajuste da proteção

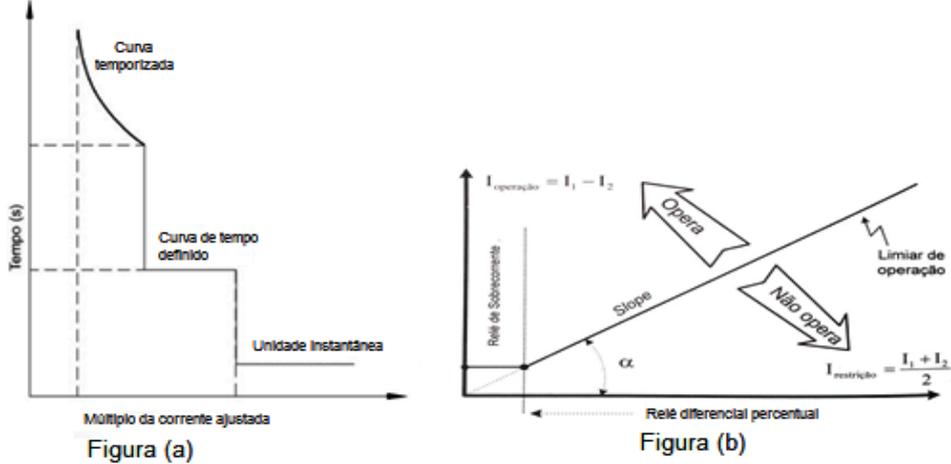
O ajuste da proteção de sobrecorrente para os principais elementos das subestações de distribuição, pode ser realizado através de fusíveis, proteção relé digital dotado de função 50/51 e 50/51N e proteção diferencial de sobrecorrente por relé, tais proteções são utilizadas de acordo com a potência do transformador e característica do sistema elétrico (HOROWITZ, 2008).

Tais ajustes podem ser analisados mais detalhadamente nas bibliografias das referências, tal conforme citado em Mamede Filho (2011) os ajustes podem seguir os seguintes critérios:

- As proteções não devem atuar para a corrente de magnetização do transformador, tipicamente com valor de 8-10 vezes da corrente nominal e duração de 100 ms.
- A realização de ajuste da unidade temporizada de fase é dada por uma corrente considerada de falha, geralmente é adotado 120 % um valor típico de sobrecarga.
- O ajuste de atuação instantânea de fase e neutro é feito para faltas assimétricas externas ao transformador, determinadas pelo fator de assimetria (F_a), ou seja, a relação X / R a montante da proteção, sendo que na ausência de valores é usualmente admitido-se $F_a=1,2$.
- O ajuste da unidade temporizada de neutro se dá pela intensidade da corrente de desequilíbrio do sistema que deve ser menor que a corrente de acionamento do relé, em geral tolera-se que a corrente de desequilíbrio varie entre 10 e 30 % da corrente nominal do transformador.
- Para o ajuste da função 87 um ajuste típico adotado e inclinação da curva característica de 25%, a sensibilidade em 30% do *tape* do enrolamento de referência e a unidade instantânea acima da corrente de magnetização do transformador.

As curvas de operação 50/51 e 50/51N do relé de sobrecorrente (a), bem como a curva de operação do relé diferencial (b), podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 - Curva do relé de sobrecorrente (a) Curva do relé diferencial (b).

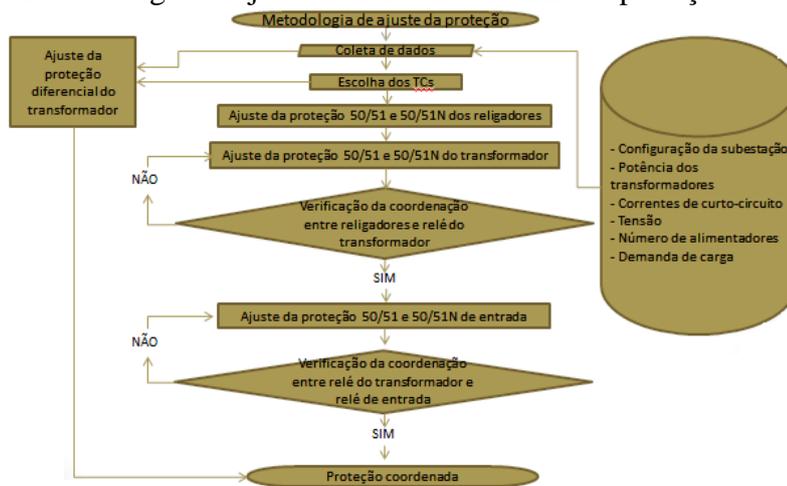


2 METODOLOGIA PROPOSTA

O ajuste da proteção em uma subestação de distribuição de energia pode ser simplificado por meio de um fluxograma apresentado na Figura 2, metodologia proposta neste trabalho.

Para a execução e desenvolvimento da metodologia proposta é utilizado como ferramenta o *software* MATLAB, no qual é possível criar um algoritmo para realizar cálculos matemáticos, gerar e visualizar graficamente as curvas de atuação das proteções e analisar se a coordenação satisfaz os critérios citados no referencial teórico, caso não ocorra a coordenação entre as curvas basta a alteração de dados como o multiplicador de tempo (*Tms*), ou alteração da curva ou alteração do tempo definido, de modo que o programa roda o algoritmo e plota uma nova curva de atuação.

Figure 2 - Metodologia de ajuste e análise de sistema de proteção de subestação.



3 ESTUDO DE CASO

O desenvolvimento do estudo foi relacionado ao projeto de uma futura subestação de energia possuindo as seguintes características: potência instalada de 30 MVA, tensão de 138 kV para 23,1 kV, barramento principal e de transferência, dois transformadores de força em paralelo de 12,5/15 MVA cada e configuração Δ -Y aterrado e impedância $Z=10\%$ e oito alimentadores, dos quais no projeto inicial somente 4 entrarão em funcionamento e possuirão demandas de 4,5 MVA, 4,0 MVA, 5,5 MVA e 2,5 MVA, totalizando uma demanda total inicial de 16,5 MVA.

As curvas aplicadas na elaboração da proteção, foram padrão IEC, normalmente inversa, visto que usualmente adota-se as características de curvas fornecida pelo fabricante do produto.

Na Figura 3 e Figura 4 é possível visualizar os gráficos das curvas de atuação das proteções geradas pelo MATLAB, bem como a coordenação entre as curvas de sobrecorrente 50/51 e 50/51N.

Figura 3 - Curvas de atuação da proteção diferencial do transformador.

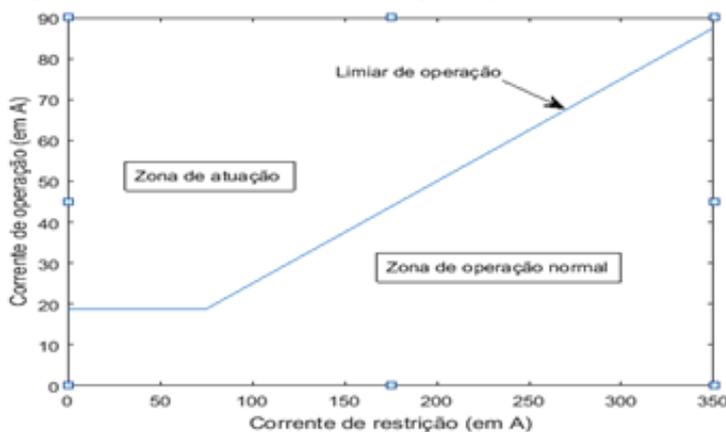
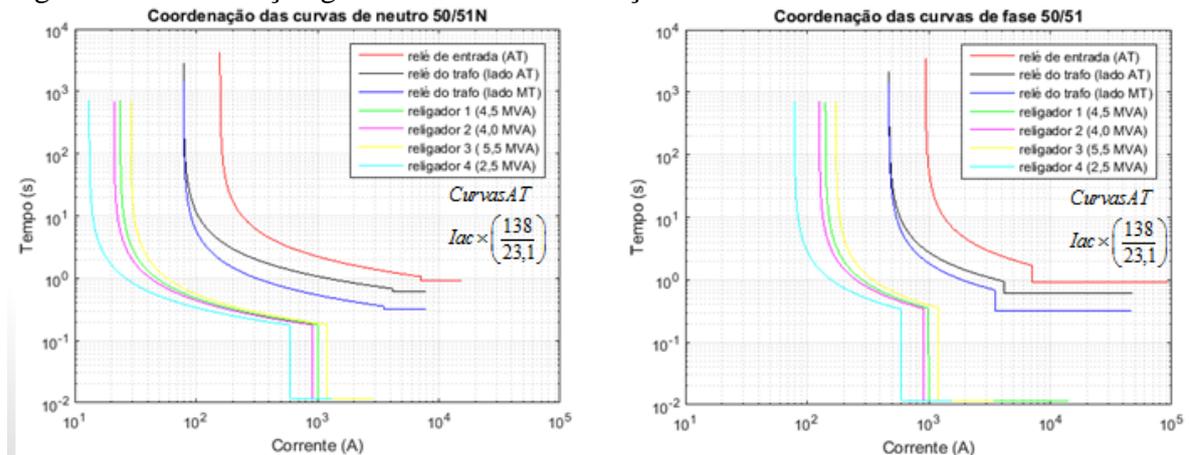


Figura 4 - Coordenação geral das curvas de atuação de sobrecorrente 50/51 e 50/51N.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no referencial teórico foi possível descrever uma metodologia para o processo de ajuste das proteções, e aplicação do mesmo utilizando o *software* Matlab, que apresenta a vantagem na verificação gráfica da seletividade e coordenação, e flexibilidade para adicionar elementos, alterar valores, considerando outras subestações, com outros elementos ou outras curvas de atuação.

Pode-se observar que a questão de projeto de proteção, é uma concepção que depende de vários fatores para uma elaboração exata, pois, além do conhecimento das características dos elementos a serem utilizados, é necessário levar em conta fatores como as características da carga.

Outro ponto é propor para estudos futuros uma nova análise da subestação de energia já em operação com os valores de ajuste reais, bem como a utilização de outro programa, por exemplo a utilizar-se do *software* ETAP.

REFERÊNCIAS

FILHO, J. M. *Instalações elétricas industriais*. 8ª. ed. - [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. *Proteção de sistemas elétricos de potência*. –[Reimpr.] Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HOROWITZ, H. S; PHADKE, A. G. *Power systems relaying*. 3. ed. Inglaterra: John Wiley e Sons Ltd, 2008.

KAGAN, N; OLIVEIRA, C. C. B; ROBBA, E. J. *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. 2. ed – São Paulo: Blucher, 2010

KINDERMANN, G.; *Proteção de sistemas elétricos de potência*. Florianópolis – SC: edição autor, 2012. v. 1 il.

_____. *Proteção de sistemas elétricos de potência*. Florianópolis – SC: edição autor, 2014. v. 2 il.

GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA CONECTADOS À REDE

Gilberto Antonio Grassi (Autor)

Fabício Hoff Dupont(Orientador)

Resumo: A sociedade tecnológica atual apresenta sérios desafios com relação a sua própria sustentabilidade, e a mesma está intimamente ligada ao crescimento do consumo de energia elétrica tanto em escala local quanto global. Portanto, a geração em quantidades cada vez maiores torna-se necessária. A microgeração e as microrredes servem como alternativas neste cenário, sendo uma integração de recursos distribuídos de energia em pequena escala, suprindo cargas localmente. O potencial de geração distribuída é analisado através de um sistema que engloba um conjunto de cargas, fontes renováveis ou não renováveis e elementos de armazenamento operando como um único sistema de microgeração. Cada subsistema é interligado por meio de um barramento comum por meio de conversores estáticos de potência. Neste cenário, propõe-se e analisa-se um subsistema supervisor com a tarefa de gerenciamento e despacho de carga em função da disponibilidade das fontes e priorizando o uso de fontes renováveis.

Palavras-chave: Microgeração de energia; Conversores de energia; Microrrede; Análise e gerenciamento.

INTRODUÇÃO

A sociedade atual apresenta sérios desafios com relação a sua própria sustentabilidade, e a mesma pode ser abordada sob os mais diversos aspectos, estando associada à necessidade tanto sob um ponto de vista financeiro quanto um ponto de vista de aproveitamento dos recursos naturais. Conforme dados IEA (2008), o consumo de energia elétrica tanto em escala local quanto global apresenta crescimento exponencial, sendo baseado tanto no aumento populacional como também através da qualidade de vida. Portanto, a geração de energia elétrica em quantidades cada vez maiores torna-se necessária. Devido ao aumento da demanda de energia, e questões relacionadas à sustentabilidade da matriz energética mundial, alternativas para produção de energia elétrica de maneira renovável (principalmente solar e eólica) vêm recebendo maior atenção por parte da indústria e da academia. Baseada no contexto energético apresentado, a Geração Distribuída (GD) insere-se como alternativa na sustentabilidade energética. O conceito desta, provém da geração de energia elétrica próxima aos consumidores, podendo estar geograficamente distante das grandes usinas. Usuários rurais, isolados ou distantes das cidades estão entre os mais apropriados para o uso destas unidades devido ao excessivo investimento que seria necessário para conectar um local distante ao sistema público de energia, além de proporcionar redução das perdas de energia

longa de transmissão e distribuição, resultando em uma maior eficiência do sistema elétrico de potência (NEHRIR, 2009).

Em diversos casos, o custo com a eletrônica e os subsistemas de controle e supervisão das microrredes representam a parcela maior do capital investido. Por esta razão, surge a necessidade de se desenvolver estratégias que permitam otimizar o rendimento, aproveitando ao máximo o potencial de geração instalado, minimizando as perdas e, por consequência, maximizando o retorno sobre o investimento realizado e ampliando a produção de energia a partir de fontes renováveis (Roggia, 2013).

Neste cenário, este trabalho tem por objetivo principal a elaboração e análise de uma estratégia para o gerenciamento do fluxo de energia elétrica proveniente de múltiplas fontes para aplicações residenciais, ou comerciais de pequeno porte, baseado em sistemas de microgeração de energia conectados à rede. Este sistema supervisor é responsável de analisar a disponibilidade de cada fonte e regular o despacho de carga priorizando o uso de fontes renováveis. Demonstra-se que as variáveis que envolvem um sistema de geração, e uma análise detalhada deve ser feita com base no grau de necessidade de utilização de energia elétrica.

1 MÉTODOS DE ANÁLISE DO SISTEMA

Muitas questões devem ser levadas em consideração em aplicações nas quais há operação de conversores conectados em paralelo. Isto é importante para o sistema de microrrede estudada, pois segundo a lógica do sistema supervisor, em determinados momentos alguns conversores operam ao mesmo tempo, tendo a questão da regulação de tensão e divisão (compartilhamento) de potência como maior foco de atenção (Dupont, 2014). Conversores conectados em paralelo devem ter um mecanismo de divisão de carga para garantir operação adequada. O método utilizado no sistema proposto é o mestre escravo (*Master Slave*), baseado no compartilhamento ativo de carga, não havendo um comportamento igualitário na operação dos módulos conectados em paralelo e existindo uma hierarquia entre estes. Desta maneira, um módulo atua como mestre, enquanto os demais se comportam como escravos. Portanto, neste método de controle, um conversor é projetado como regulador de tensão do sistema, enquanto os outros são designados para realizar a regulação de corrente (Roggia, 2013).

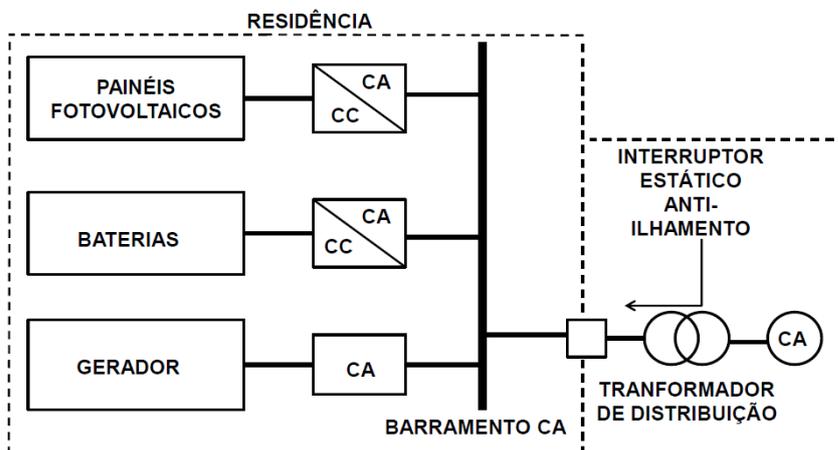
1.1 Fontes acopladas ao sistema

Com o intuito de proporcionar maior flexibilidade de funcionamento com os sistemas atuais de distribuição de energia em corrente alternada, o sistema analisado neste trabalho emprega o mesmo barramento de distribuição CA disponível. A ele assume-se que as seguintes fontes estejam conectadas:

- **PAINEL FOTOVOLTAICO:** como a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos se dá em forma CC, uma conversão para CA deve ser realizada e posteriormente conectada ao barramento CA;
- **REDE:** entre a rede e o barramento CA existe um interruptor estático anti-ilhamento, que realiza a conexão da residência com a rede de distribuição em CA, permitindo desconectar o barramento da microrrede da rede pública em caso de falta;
- **BATERIAS** – o despacho de energia elétrica nas baterias se dá em forma CC, então uma conversão para CA deve ser realizada e em seguida conectada ao barramento CA;
- **GERADOR (backup):** geração de energia elétrica CA conectada diretamente ao barramento CA para fornecer energia por maior período de tempo na ocorrência de uma falta na rede.

As fontes acopladas ao sistema de GD proposto são conectadas em paralelo, e conforme mencionadas anteriormente suas formas de geração, a adaptação a característica do barramento CA para a sua devida inserção é realizada através de conversores de energia, conforme são apresentadas na Fig. 1 suas respectivas formas de tensões, sejam corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA).

Figura 10 - Diagrama geral de blocos da conexão das fontes ao sistema da microrrede estudada.



2 SIMULAÇÕES

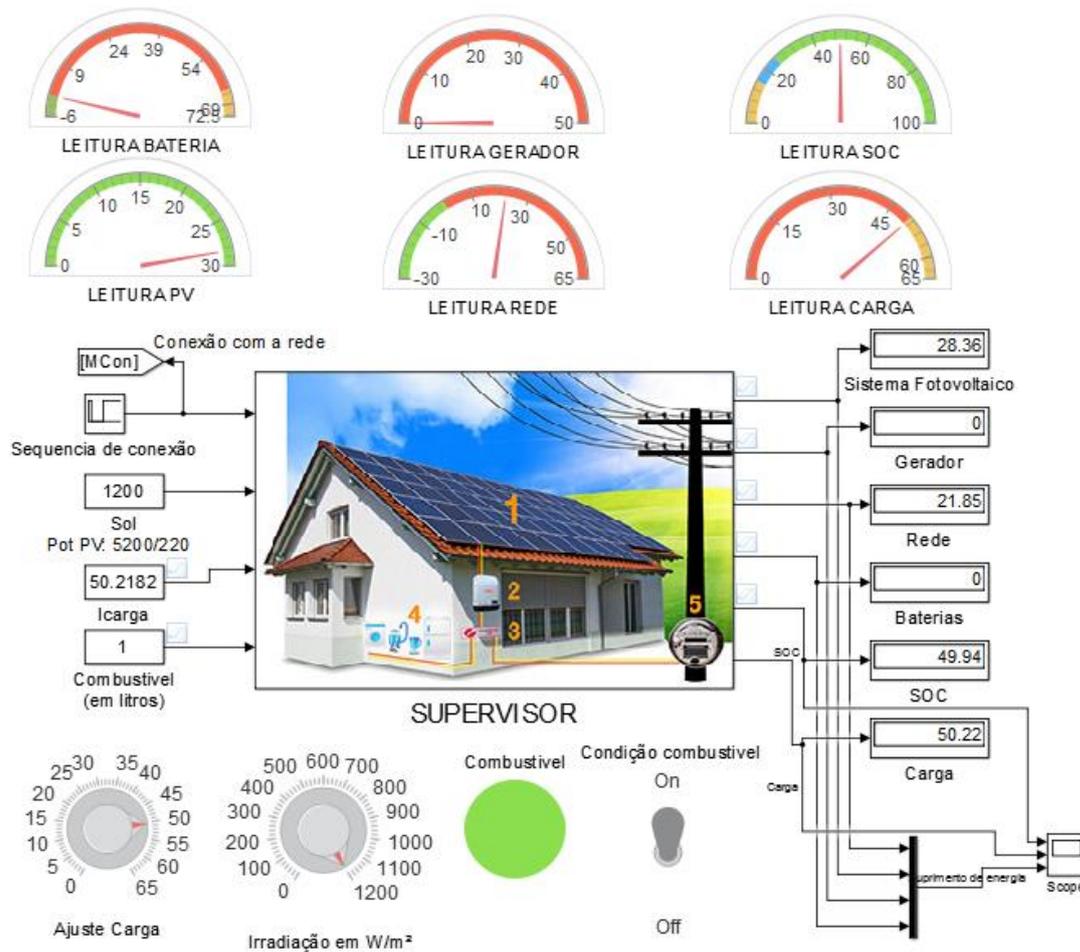
Com base na descrição técnica do sistema investigado, o processo de implementação foi analisado através do *software* Matlab/Simulink. Através deste recurso foi possível realizar os testes de verificação da lógica de análise e supervisionamento do sistema de microgeração proposto, sendo crucial para o finalização do mesmo. A descrição do sistema supervisor é brevemente apresentada nesta seção, a contribuir no esclarecimento das considerações realizadas para concluir o objetivo desta pesquisa.

2.2 Sistema de análise e gerenciamento

A análise e o gerenciamento do sistema de microgeração investigado baseia-se na leitura dos estados e na disponibilidade das fontes de energia. Sendo assim, a interface de interação tem por objetivo facilitar a visualização e análise do funcionamento da microrrede, permitindo modificar os valores de irradiação, a disponibilidade de energia da rede e de combustível para o gerador, analisar o estado de carga das baterias, bem como alterar a demanda de energia da carga. Destaca-se que as correntes são consideradas positivas quando injetam energia no barramento de distribuição da microrrede.

Considerou-se na investigação do sistema proposto que o método de controle mestre-escravo. Conforme as principais características do método, o bloco ‘SUPERVISOR’, realizará a função do mestre, verificando por meio da regulação de tensão no barramento da microrrede e destinando os escravos, sendo estes últimos as fontes de geração, responsáveis em função da regulação da corrente do barramento da microrrede, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Interface principal de interação com a simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar o objetivo do sistema investigado, a microrrede considerada apresenta as seguintes características:

- *SOC - State of Charge* (estado de carga) das baterias: a carga do sistema de armazenamento ocorre nos dois modos de operação (modo *off-grid* e *on-grid*), sendo que a descarga é permitida apenas no modo ilhado, sendo ilustrada pelo bloco ‘LEITURA BATERIAS’;
- Sistema fotovoltaico: a utilização da energia solar fotovoltaica ocorre nos dois modos de operação, sendo que no modo conectado à rede opera-se apenas no modo MPPT, já no modo ilhado pode-se trabalhar também no modo regulação de tensão, caso a demanda de energia seja menor que a capacidade de geração fotovoltaica com base na irradiação, ilustrada pelo bloco ‘LEITURA PV’;

- Gerador a diesel: a descarga acontece somente no modo ilhado, de forma a suprir a demanda caso a energia do sistema fotovoltaico seja insuficiente para alimentar a carga, sendo ilustrada pelo bloco ‘LEITURA GERADOR’;
- Rede pública de energia elétrica: define o modo de operação do sistema supervisorio, entre *on-grid* e *off-grid*, e pode operar tanto no complemento de energia caso o sistema fotovoltaico seja insuficiente para alimentar a carga, quanto para absorver o excedente caso o sistema fotovoltaico esteja produzindo mais energia que o demandado pela carga, sendo ilustrada pelo bloco ‘LEITURA REDE’;
- Consumo residencial: define a carga demandada pela residência, com base na variação do consumo de energia em um intervalo de tempo. Sendo esta a preferência no fornecimento das múltiplas fontes de geração, a mesma é ilustrada pelo bloco ‘LEITURA CARGA’.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a etapa de investigação do sistema proposto, evidenciou-se que a análise das condições de estado de geração são de extrema importância, pois as mesmas são intimamente interligadas à eficiência e à confiabilidade que o sistema de análise e gerenciamento pode apresentar. As fontes conectadas em paralelo devem funcionar de modo a serem confiáveis e o método mestre escravo encaixa-se satisfatoriamente, analisando as configurações disponíveis no sistema e respondendo a variações, buscando sempre reduzir o custo da energia e permitindo que as cargas continuem funcionando mesmo na ocorrência de faltas na rede pública de energia.

REFERÊNCIAS

Dupont, F. H. *Estudo, análise e implementação de uma metodologia para otimização de rendimento em sistemas compostos por conversores em paralelo*. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS. 2014.

IEA, 2008. *Photovoltaic Power Systems Programme*. Disponível em <<http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebwebsite/2008-1994/weo2008.pdf>>. Acesso em 10 out. 2015.

Nehrir, M. H.; Wang, C., 2009. *Modeling and control of fuel cells: distributed generation applications*. Hoboken, N.J.: Wiley.

Roggia, L. *Novo conversor CC-CC integrado full-bridge-forward aplicado a uma microrrede residencial*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2013.

MODULAÇÃO POR ELIMINAÇÃO SELETIVA DE HARMÔNICAS APLICADAS A INVERSORES MULTINÍVEIS EM CASCATA

Júnior Romani (Autor)

Fabício Hoff Dupont (Orientador)

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo acerca de conversores CC-CA alimentados em tensão, abordando também o estudo de conversores multiníveis constituídos de conversores *full-bridge*, ligados em cascata. Para os conversores multiníveis são apresentadas estratégias de modulação, aprofundando-se o estudo da Eliminação Seletiva de Harmônicas. A metodologia para a eliminação seletiva de harmônicas parte da estratégia de comutação das chaves em instantes pré-determinados, calculados através da utilização de um algoritmo programado em MATLAB, com soluções possíveis apenas para uma faixa de índices de modulação. Desta forma propõe-se implementar, por meio de simulação, um sistema de modulação por eliminação seletiva de harmônicas para um inversor multinível composto por dois conversores conectados em um arranjo monofásico em cascata operando com uma carga RL de 1 KVA e com fator de potência de 0,87.

Palavras-chave: Inversores multiníveis; Eliminação seletiva de harmônicas; Simulação.

INTRODUÇÃO

Atualmente os sistemas eletrônicos de potência são essenciais para atender à demanda energética da sociedade, pois além de converterem a potência elétrica de uma forma para outra através de conversores eletrônicos também permitem agregar um conjunto cada vez maior de funcionalidades e serviços. A aplicação de dispositivos semicondutores como interruptores controlados abrange tanto circuitos com menor potência onde são enquadradas as fontes de computador e carregadores de celulares até sistemas que processam elevadas potências, como sistemas de distribuição de energia (MOHAN, 2014).

Entre sistemas eletrônicos de potência são apresentados os conversores CC-CA, também conhecidos como inversores, que têm a função de transformar as grandezas contínuas em sua entrada, como tensão ou corrente, em grandezas alternadas em sua saída. O arranjo multinível com pontes H em cascata (CHB, *Cascaded H-bridge*) é formado pela conexão em série dois ou mais conversores *full-bridge* alimentados por barramentos de corrente contínua isolados. Por meio desta estratégia, os esforços de tensão sobre as chaves são reduzidos. Além disto, cada ponte completa pode produzir tensões positivas, negativas e zero. Desta forma sendo 0 V comum a todas as pontes, tem-se que um arranjo com N níveis pode assumir $2N+1$ níveis em sua saída (DUPONT; PINHEIRO, J. R. ; PINHEIRO, H. 2015).

O avanço da tecnologia também está fazendo com que a demanda energética mundial permaneça em ascendência, principalmente no que se refere à energia elétrica. Esta demanda

energética aliada à preocupação com o meio ambiente, obriga profissionais da Engenharia Elétrica a trabalharem em estratégias que visam melhorar o rendimento dos sistemas e ainda possibilite que a energia entregue ao consumidor final seja uma energia de qualidade. Um dos fatores que indicam a qualidade da energia é a Distorção Harmônica Total, THD (do inglês, *Total Harmonic Distortion*). As harmônicas podem interagir negativamente com uma vasta gama de equipamentos do sistema de potência, mais notavelmente capacitores, transformadores, e motores, causando perdas adicionais, superaquecimento e sobrecarga. Além disso, podem causar interferência com linhas de comunicação e erros na medição de potência (DUGAN. et.al. 2004).

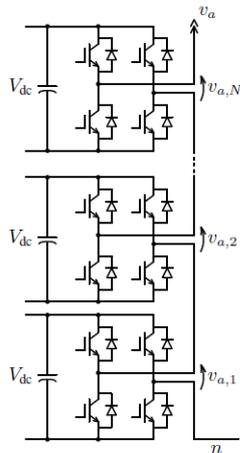
Para inversores, uma alternativa que permite reduzir o conteúdo harmônico ainda na modulação das chaves e que ainda permite que o inversor opere com baixas frequências de comutação (na ordem das centenas de Hz) é a modulação por eliminação seletiva de harmônicas (SHE, *Selective Harmonic Elimination*). A eliminação seletiva de harmônicas é dada de tal forma que as comutações ocorram em ângulos pré-determinados, e, por acontecer em baixa frequência, também melhora o rendimento do sistema (DUPONT; PINHEIRO, J. R. ; PINHEIRO, H. 2015).

Desta forma o presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo e implementação por meio de simulação da modulação por eliminação seletiva de harmônicas aplicada a um inversor multinível monofásico com células *H-bridge* conectadas em cascata. Para desenvolver o objetivo geral, primeiramente equacionou-se a modulação por eliminação seletiva de harmônicas aplicada a conversores multiníveis, em seguida elaborou-se um algoritmo para a determinação dos ângulos de comutação para a modulação por eliminação seletiva de harmônicas, e, finalmente desenvolveu-se um ambiente de simulação para a validação dos estudos teóricos realizados no decorrer do trabalho.

1 DESENVOLVIMENTO

O arranjo multinível com pontes H em cascata (CHB, *Cascaded H-Bridge*) é formado pela conexão em série de diversos conversores *full-bridge* alimentados por barramentos de corrente contínua isolados, conforme apresenta a Figura 1. A partir da análise da estrutura, verifica-se que cada ponte H pode produzir tensões de +Vcc, -Vcc e 0 V. Desta forma sendo o 0 V comum a todas as pontes, assume-se que um arranjo com N níveis pode sintetizar 2N+1 níveis de tensão (DUPONT; PINHEIRO, J. R. ; PINHEIRO, H. 2015).

Figura 1: Estrutura básica para uma fase de um inversor multinível com n conversores ponte H em cascata.



Fonte: Dupont; Pinheiro, J. R.; Pinheiro, H.; 2015.

Para o arranjo multinível, Rech (2005. p.21) destaca as seguintes estratégias de modulação

- Síntese de formas de ondas multiníveis quase-quadradas;
- Eliminação seletiva de harmônicas;
- Modulação por largura de pulso senoidal;
- Modulação *space vector*;

O escopo deste trabalho é dado acerca da modulação por eliminação seletiva de harmônicas, apresentando a metodologia da mesma e seus resultados através de simulações em malha aberta.

1.1 Modulação por eliminação seletiva de harmônicas

Entre as diversas estratégias de modulação que vêm sendo desenvolvidas com o intuito de reduzir o conteúdo harmônico das variáveis de interesse, Rech (2005. p.21) destaca a modulação por eliminação seletiva de harmônicas, também conhecida como modulação por largura de pulso (PWM- *Pulse Width Modulation*) programada, que consiste na comutação das chaves em instantes pré determinados, permitindo a eliminação de diversas harmônicas de baixa frequência e a especificação da magnitude da componente fundamental de tensão ou corrente de saída. (RECH, 2005. p. 22-23) (DUPONT; PINHEIRO, J. R.; PINHEIRO, H. 2015).

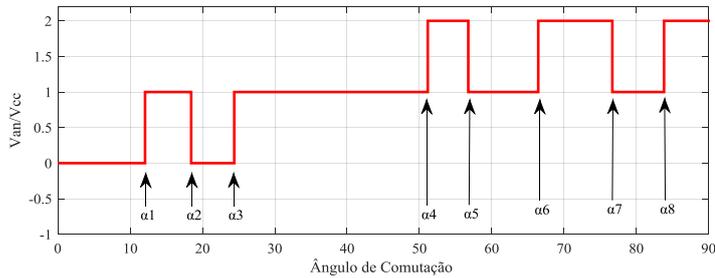
Para este trabalho a eliminação seletiva de harmônicas é aplicada a um inversor monofásico de dois níveis (capaz de sintetizar 5 níveis de tensão na saída) onde propõe-se eliminar sete harmônicas e ajustar a magnitude de componente fundamental, logo serão

necessárias oito comutações para cada quarto de onda. Para implementação do método inicialmente foram calculados os ângulos de comutação que eliminavam as harmônicas desejadas e ajustava o índice de modulação conforme:

$$V_h = \frac{4V_{dc}}{h\pi} (\cos(h\alpha_1) - \cos(h\alpha_2) + \cos(h\alpha_3) + \cos(h\alpha_4) - \cos(h\alpha_5) + \cos(h\alpha_6)) \quad (1)$$

O cálculo dos ângulos foi realizado pela função “fmincon” do MATLAB, e o padrão PWM para um índice de modulação de 1,65 é ilustrado pela Figura 2.

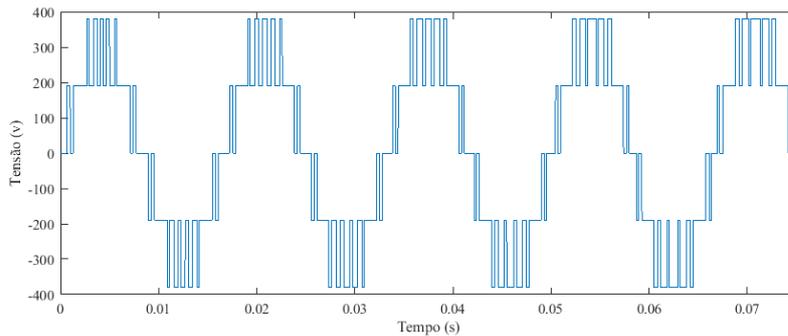
Figura 2: Quarto de onda com as comutações em α .



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após definirem-se os ângulos de comutação, e a faixa de índices de modulação que poderiam ser sintetizados, foi então realizada a simulação do sistema considerando uma carga RL de 1 kVA com fator de potência de 0,87. Nesta primeira simulação variou-se o índice de modulação do mínimo ao máximo conforme demonstrado pela Figura 3.

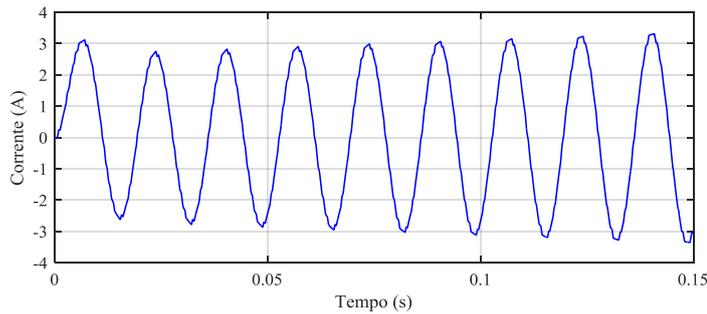
Figura 3: Tensão na saída do inversor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mantendo-se a carga constante e elevando-se o índice de modulação é possível perceber que a corrente na carga também é elevada, conforme a Figura 4.

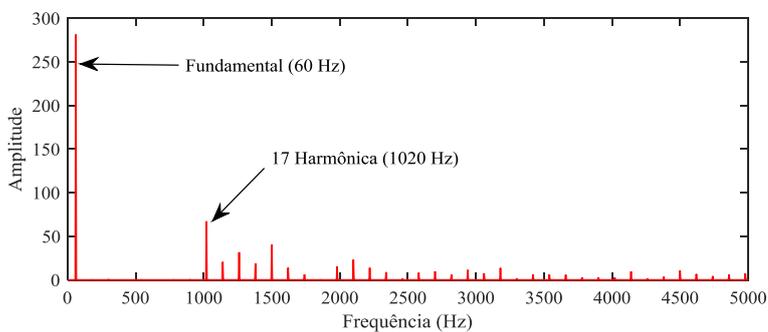
Figura 4: Corrente na carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente para comprovar que o sistema opera com a eliminação seletiva de harmônica foi realizada a análise espectral da tensão de saída através da função FFT (Fast Fourier Transform) do MATLAB, para um índice de modulação de 1,47 conforme ilustrado pela Figura 28, onde é possível perceber que o índice de modulação da fundamental também é ajustado ficando próximo de $198 V_{RMS}$ ($280 V_{pp}$) e a primeira harmônica significativa presente no espectro também está a 1020 Hz, conforme definido.

Figura 5: FFT para um índice de modulação de 1.47.



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado um estudo acerca dos inversores multiníveis que permitem sintetizar mais níveis em sua saída. Também foi descrita e equacionada a modulação por eliminação seletiva de harmônicas é possível reduzir o conteúdo harmônico dos mesmos ainda no estágio de modulação sem aumentar significativamente a frequência de comutação das chaves.

Ainda com objetivo de validar os estudos realizados foi elaborado um ambiente de simulação no simulink, onde através de simulações em malha aberta foi possível demonstrar a operação do sistema validando a estratégia multinível com dois níveis proposta. Também foram realizadas análises espectrais na tensão de saída validando a modulação por eliminação

seletiva de harmônicas, tendo em vista que as harmônicas desejadas foram eliminadas e o índice de modulação foi ajustado, desta forma permitindo concluir que os objetivos propostos foram alcançados.

REFERÊNCIAS

RECH, Cassiano. *Análise, projeto e desenvolvimento de sistemas multiníveis Híbridos*. Santa Maria, 2005. 249f. Tese de Doutorado, Área de concentração em processamento de energia. Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM- RS).

MOHAN, Ned.; *Eletrônica de Potência: Curso Introdotório*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

DUPONT, Fabricio H. ; PINHEIRO, J. R. ; PINHEIRO, H. . Algoritmo genético para a especificação das tensões dos conversores aplicado a inversores multiníveis operando com SHE-PWM. In: *Seminário De Eletrônica De Potência E Controle*, 2015, Santa Maria. Anais do 9º Seminário de Eletrônica de Potência e Controle, 2015 p. 1-6.

DUGAN. Roger C. et. al. *Electrical Power Systems Quality*. 2 ed. _____ The McGraw-Hill Companies, 2004.

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Leonardo Romitti

Fabício Hoff Dupont (Orientador)

Resumo: A potência fornecida por dispositivos fotovoltaicos é extremamente sensível à variações de irradiação e de temperatura de modo que é necessário utilizar um método de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT) para fazer com que o sistema opere o mais próximo possível do MPP. Na literatura sobre o tema existem diversas técnicas desenvolvidas e implementadas que variam em alguns aspectos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo comparativo entre os métodos de Perturbação e Observação (P&O), Condutância Incremental (CondInc) e Método Baseado na Medição de Temperatura (MPPT – temp), identificando os parâmetros que devem ser definidos, bem como a eficiência média de cada algoritmo para diferentes condições de irradiação e de temperatura.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos; Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT); Método de Perturbação e Observação, Método de Condutância Incremental, Método Baseado na Medição de Temperatura.

INTRODUÇÃO

De acordo com Zilles (2012) os valores de saída dos dispositivos fotovoltaicos podem ser representados através das curvas $I - V$ e $P - V$, onde a combinação da tensão de máxima potência e corrente de máxima potência definem o Ponto de Máxima Potência (MPP). De modo geral, é esperado que o sistema fotovoltaico opere sempre nesta localização, no entanto, estes valores são extremamente sensíveis a variações de irradiação e temperatura de modo que o MPP sofre mudanças ao longo do dia. Deste modo, é necessário utilizar um método de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT) que garanta a operação do sistema próximo ao ponto ótimo independente das condições ambientais de modo a garantir a máxima transferência de potência à carga.

Segundo Efram e Chapman (2008) existem dezenas de métodos de MPPT desenvolvidos e implementados que variam em alguns aspectos como complexidade, velocidade de convergência, eficiência e popularidade. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo principal realizar um estudo comparativo entre os métodos de Perturbação e Observação (P&O), Condutância Incremental (CondInc) e Método Baseado na Medição de Temperatura (MPPT – temp), identificando os diversos parâmetros que devem ser definidos em cada uma destas técnicas bem como a eficiência média dos métodos para diferentes condições de operação.

1 DESENVOLVIMENTO

Para que os objetivos deste trabalho pudessem ser alcançados, inicialmente foi realizada uma concisa revisão de literatura sobre o tema a partir da qual foi desenvolvido um sistema composto por duas partes, como propõe Coelho (2011), com o auxílio do software de simulação e análise de sistemas dinâmicos *Simulink*.

A primeira é um modelo que representa a lógica de funcionamento do MPPT, fazendo a leitura das informações do módulo, executando os cálculos e definindo o ponto de operação do sistema. A segunda é o estágio de potência que tem como objetivo habilitar o funcionamento das técnicas. Esta última foi projetada de acordo com Hart (2012) utilizando – se os valores de saída de um módulo KD205GX-LP da Kyocera Solar e é constituída por um conversor Buck-Boost operando em modo de condução contínua (MCC).

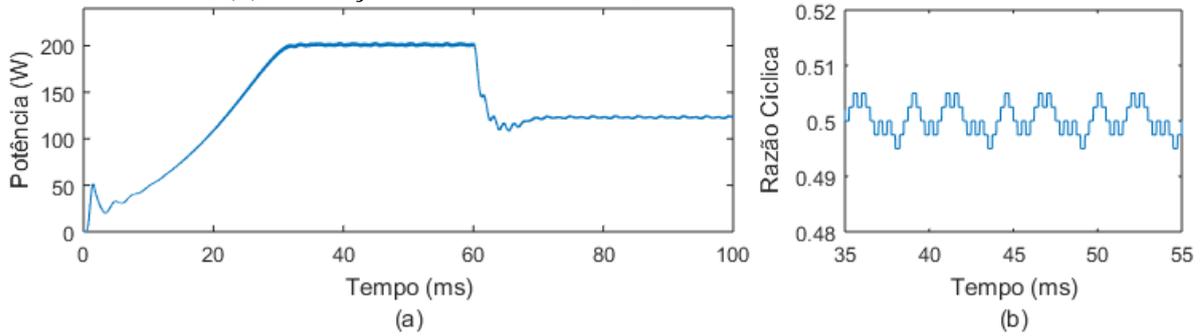
Com base na metodologia apresentada por Martins, Coelho e Santos (2011), foram desenvolvidos subsistemas no *Simulink* para cada método investigado a partir dos quais foram realizadas a validação e a análise do método.

1.1 Método de Perturbação e Observação (P&O)

Segundo Martins, Coelho e Santos (2011) o método de P&O é uma técnica de rastreamento que se baseia na comparação de potência de saída do sistema fotovoltaico em diferentes instantes para realizar uma perturbação na razão cíclica (D) do conversor CC – CC e estabelecer a operação próxima ao MPP.

A partir da leitura dos valores de corrente $I(n)$ e de tensão $V(n)$ provenientes do módulo fotovoltaico em determinado instante de tempo (n), é calculada uma variação de potência (ΔP) e outra de tensão (ΔV). Se tanto a potência como a tensão aumentarem em determinado instante, por exemplo, é adicionado um passo de incremento de razão cíclica (ΔD) de modo a aumentar a tensão do circuito. Quando o MPP é alcançado, é estabelecida uma oscilação em torno do ponto ótimo, como é ilustrado pela Figura 1 (b).

Figura 1: Método de P&O no rastreamento do MPP em sistemas fotovoltaicos: (a) Processo de rastreamento; (b) Oscilação em torno do MPP;



No algoritmo de P&O devem ser configurados os valores de frequência de amostragem t_s e o passo de incremento da razão cíclica ΔD . Neste contexto, uma análise mais detalhada do método de P&O pode ser obtida em Romitti e Dupont (2016), onde é validado o funcionamento da técnica no rastreamento do MPP em sistemas fotovoltaicos e avaliada a influência dos parâmetros de t_s e de ΔD do processo de rastreamento.

Assim, foi realizada a validação do funcionamento do método sob diferentes condições, como pode ser conferido também na Figura 1 (a), onde inicialmente o módulo está operando com $S = 1000 \text{ W/m}^2$ e $T = 25^\circ$ e então ocorre uma redução na irradiação para $S = 600 \text{ W/m}^2$.

1.2 Método de Condutância Incremental (CondInc)

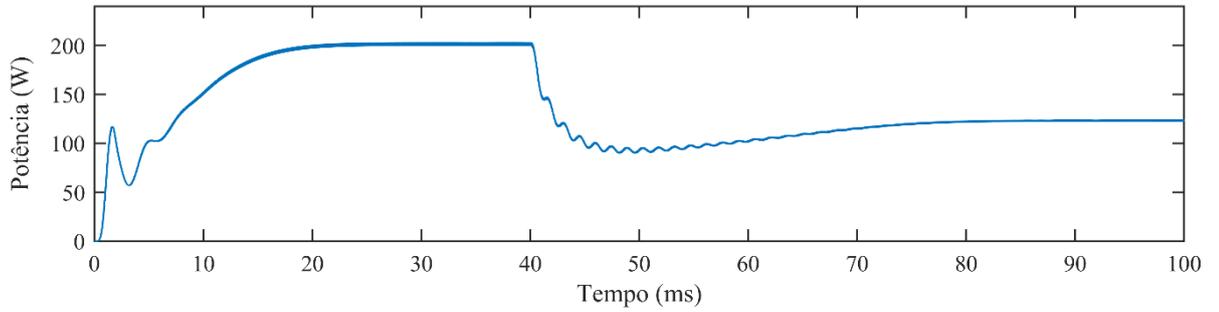
O método de Condutância Incremental (CondInc) é uma técnica de rastreamento aplicada a sistemas fotovoltaicos que se baseia no conceito matemático de que no MPP a derivada da potência em relação à tensão da curva P – V é nula (MARTINS, COELHO E SANTOS, 2011).

Deste modo, o objetivo da técnica é ajustar a tensão do módulo para que ela permaneça sempre neste ponto. Assim, são lidos os valores de corrente $I(n)$ e de tensão do módulo $V(n)$ a partir dos quais é calculada a condutância $(\Delta I/\Delta V + I(n)/V(n))$ em determinado instante de tempo. Se este valor é maior que zero por exemplo, significa que o sistema está operando à direita do MPP e então é feito um decréscimo de razão cíclica (k_{inc}) de modo a diminuir a tensão e fazer com que o sistema opere sobre o ponto ótimo.

No método de CondInc existem três parâmetros que devem ser configurados e apresentam influência direta no sistema que são a frequência de amostragem t_s , o passo de incremento da razão cíclica (k_{inc}) e a faixa de tolerância ou zona morta (ΔW).

A validação do funcionamento da técnica é ilustrada na Figura 2, onde inicialmente o módulo está operando com $S = 1000 \text{ W/m}^2$ e $T = 25^\circ$ e então ocorre uma redução da irradiação para $S = 600 \text{ W/m}^2$.

Figura 2: Método de CondInc no rastreamento do MPP em sistemas fotovoltaicos.



1.3 Método Baseado na Medição de Temperatura (MPPT – temp)

Por sua vez, o Método de MPPT Baseado na Medição de Temperatura (MPPT – temp) tem como princípio de funcionamento o fato de que existe uma relação linear entre a tensão no ponto de máxima potência e a temperatura na superfície do módulo (MARTINS, COELHO E SANTOS, 2011). Tomando como exemplo o Buck – Boost, o seu funcionamento está sujeito à implementação da expressão que define o valor de D do conversor, descrita por

$$D = \frac{V_{out}}{(V_{mpp}(T_{ref}) + \mu_{Vmpp}(T - T_{ref})) + V_{out}} \quad (1)$$

Onde $V_{mpp}(T)$ é a tensão para a qual a máxima transferência de potência ocorre, $V_{mpp}(T_{ref})$ é a tensão no ponto de máxima potência para a temperatura de referência T_{ref} estabelecida pela STC (25°C), T é a temperatura medida na superfície do módulo e V_{out} é a tensão de saída do conversor. Por sua vez, μ_{Vmpp} é denominado coeficiente de temperatura de V_{mpp} e é fornecido no *datasheet* do módulo fotovoltaico.

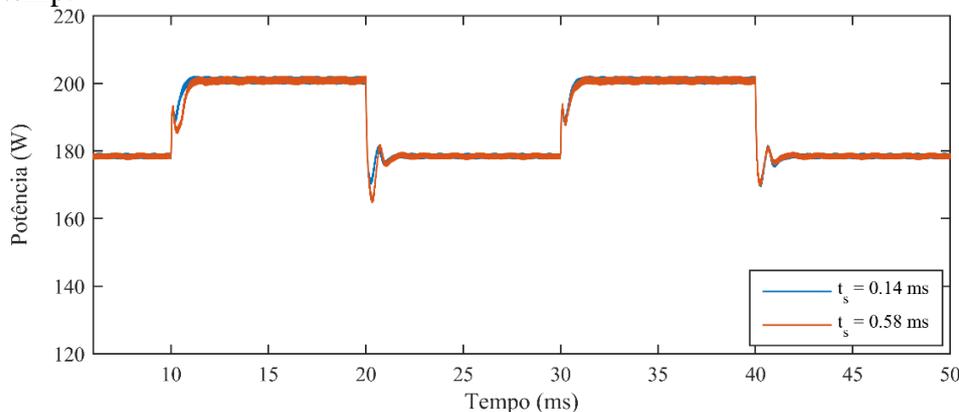
Com base nos conceitos apresentados, é possível concluir que ao utilizar o conversor Buck – Boost alimentado pelo módulo KD205GX – LP a simulação do método de MPPT – temp fica sujeito à implementação da seguinte condição para o seu funcionamento

$$D = \frac{26,6}{(26,6) + (-0,12(T - 25)) + 26,6} \quad (1)$$

Neste método, o parâmetro que deve ser configurado é a frequência de amostragem t_s . Assim, foi realizada a validação do funcionamento do método sob diferentes condições, como

é ilustrado na Figura 3, onde inicialmente o módulo está operando com $S = 1000 \text{ W/m}^2$ e $T = 55^\circ$ e então ocorre uma oscilação nas condições de operação para $S = 1200 \text{ W/m}^2$ e $T = 65^\circ$.

Figura 3: Rastreamento do MPP em sistemas fotovoltaicos utilizando a técnica de MPPT – temp.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi apresentado, a potência fornecida por dispositivos fotovoltaicos sofre variações em função de diferentes níveis de irradiação e de temperatura de modo que é necessário utilizar um método de MPPT. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo validar o funcionamento dos métodos de Perturbação e Observação (P&O), Condutância Incremental (CondInc) e Método Baseado na Medição de Temperatura (MPPT – temp).

Ainda, a metodologia utilizada permitiu estimar a eficiência média do sistema sob diferentes condições de irradiação e de temperatura. Neste contexto, para o caso em que não foi utilizada nenhuma técnica de MPPT o sistema apresentou um rendimento de 71,98 %. Por sua vez, entre os algoritmos utilizados, a técnica de CondInc se mostrou a melhor opção no rastreamento do MPP com uma eficiência de 99,91%. Além disso, os métodos de P&O e MPPT – temp apresentaram rendimento de 99,72% e 99,78%, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos destaca –se a importância do tema e sua funcionalidade, tendo em vista a otimização da geração de energia em sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

COELHO, R. F. *Estudo dos Conversores Buck e Boost Aplicados ao Rastreamento de Máxima Potência de Sistemas Solares Fotovoltaicos*. (Dissertação) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

COELHO, F. R; CONCER, F. M.; MARTINS, D. C. Estudo Comparativo entre Conversores Estáticos Operando como Rastreadores de Máxima Potência em Sistemas Fotovoltaicos. In: *XVIII Congresso Brasileiro De Automática (CBA)*, (p. 1348 – 1353). Bonito – MS: 12 a 16 de setembro de 2010.

ESRAM, T; CHAPMAN, P. L. *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. IEEE Transactions on Energy Conversion. v. 22, n.2, p. 439 – 449, 2007.

HART, D. W. *Eletrônica de potência: análise e projeto de circuitos*. Porto Alegre: AMGH, 2012.

ROMITTI, L.; DUPONT, F. H. Simulação e Análise do Algoritmo de Perturbação e Observação no Rastreamento do Ponto de Máxima Potência em Sistemas Fotovoltaicos. (Artigo) *XV Jornada De Estudos Em Informática E I Simpósio De Ciência, Inovação E Tecnologia (Simcit)* – Universidade Regional Integrada Do Alto Uruguai E Das Missões (Uri/Fw). Frederico Westphalen, 2016.

ZILLES, R. et al. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SISTEMA AUTOMÁTICO SELETOR DE PASSAGEM E POSIÇÃO EM ESTEIRAS INDUSTRIAIS

Maicon Piovesan Dalcin(Autor)

Hamilton Confortin Sartori (Orientador)

Resumo: O sistema estudado tem como principal componente um controlador lógico programável (CLP) que executa uma programação desenvolvida em linguagem ladder. A lógica de automação inserida no CLP foi simulada por meio de um conjunto de ferramentas computacionais. Os CLPs são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação, e são ferramentas muito úteis para aplicações em sistema de controle, sendo utilizados largamente no mercado industrial e residencial. Uma característica que torna os CLPs com grande aceitação é a capacidade de desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das variáveis de saídas em função das variáveis de entradas. Este estudo tem como objetivo o direcionamento de caixas por meio de um seletor automático, que foi motivado pela necessidade do aperfeiçoamento no local que precisa de um acionamento inteligente, onde foi tentando anteriormente realizar esse direcionamento duas vezes através de empresas terceiras sem sucesso.

Palavras-chave: CLP. Automação. Sistema automático seletor. Esteiras industriais.

INTRODUÇÃO

É indiscutível que na vida moderna, cada vez mais enérgica e atarefada, a busca por soluções que agilizem ou mesmo eliminem atividades importunas se tornem um dos principais objetivos das empresas inovadoras. A exemplo disso, o controle automático dos processos industriais representa um papel fundamental no avanço tecnológico das empresas. O controle automático tem como objetivo verificar e controlar as diversas variáveis físicas em processos indústrias e também produzir produtos de alta qualidade com melhores condições de trabalho com alto rendimento e maior segurança. Os sistemas de controle de processos são criados de forma a maximizar a produção, minimizar custo e garantir maior qualidade de produção.

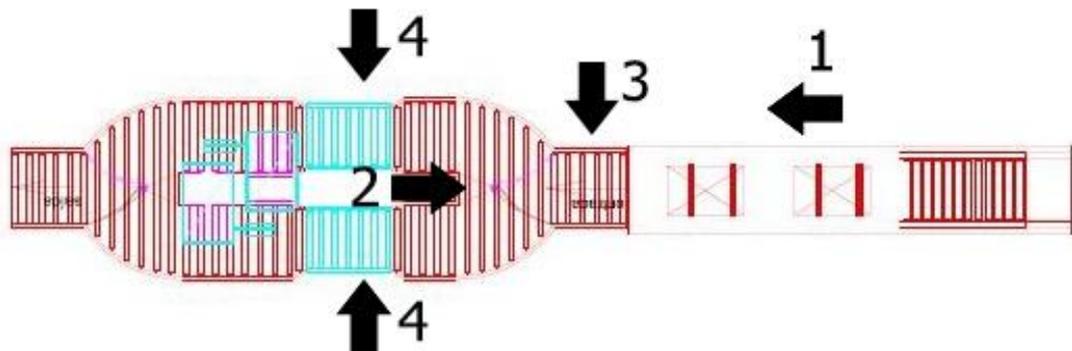
A expressão automação está diretamente ligada ao controle automático, ou seja, ações que não dependem propriamente da ação do homem. A automação surgiu por volta de 3200 e 3500 A.C. através da utilização da roda, moinhos a vento e à força animal, com o objetivo de facilitar o trabalho do ser humano de forma a substituir o esforço físico por outros meios e mecanismos. Nos dias atuais, entende-se por automação qualquer sistema constituído em microprocessadores, sendo que estes sistemas verificam seu próprio funcionamento, realizando medições e buscando correções sem a ação humana (SILVA, 2005).

O projeto desenvolvido neste trabalho surgiu da necessidade de direcionar de forma rápida e eficaz caixas frigoríficas em uma esteira de direcionamento. Necessidade esta

verificada no dia a dia da empresa. Atualmente, este trabalho é realizado de forma manual e ininterrupta por um funcionário que direciona as caixas. Caso não haja uma pessoa para exercer esta função outro funcionário, que está posicionado logo atrás (responsável pela etiquetagem das caixas) terá de fazer um esforço ainda maior do que sua atividade necessita para pegar a caixa antes que seja danificada.

O operador faz o acionamento e o desligamento do motor da esteira por um pedal. Seu pé deve ficar sobre o mesmo durante o funcionamento do equipamento, acarretando em grande desgaste físico para exercer as duas funções. Se o funcionário, por algum motivo não conseguir dar vazão e direção a todas as caixas, as mesmas ficarão imprensadas, resultando em danos nas caixas e nos produtos. A figura 01 ilustra o processo de direcionamento das caixas, onde o 1 representa o sentido da esteira, 2 ponto onde as caixas são danificadas, 3 onde um operador exerce a função para direcionar as caixas e 4 operadores para realizar a pesagem e etiquetagem das mesmas.

Figura 4 - Layout.



1. DESENVOLVIMENTO

Os CLPs foram desenvolvidos no final da década de 1970, para substituir os tradicionais circuitos lógicos automáticos que utilizavam relés, temporizadores e dispositivos mecânicos que estavam sujeitos à possibilidade de maiores danos. Este sistema foi desenvolvido internamente na General Motors em 1968, devido à grande necessidade de mudar a lógica de controle dos painéis de comando a cada alteração na produção de montagens. Tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro, logo, na forma tradicional esta mudança se tornava muito trabalhosa por seus operadores, portando, surgiu a ideia do desenvolvimento do CLP para potencializar o processo da montadora. O CLP trazia

flexibilidade e agilidade para esse processo, pois a necessidade era apenas carregar um novo programa já pronto no controlador com as novas características de montagens (MASS, 2000).

O desenvolvimento do projeto se deu a partir da compreensão do processo original e dos requisitos realizados, possuindo como objetivo limitar ao máximo a interferência do operador, através da automatização das etapas do processo. Deseja-se com isso aumentar a capacidade da produção, minimizando possíveis erros humanos, tarefas repetitivas e cansativas. Além disso, deseja-se aumentar a qualidade do produto, ganhando competitividade no mercado.

Com isso, esta pesquisa é realizada por meio de uma revisão bibliográfica sobre o assunto e posteriormente foram realizados levantamentos de dados *in loco* através de visitas ao setor no qual foi implementado o projeto. Desta forma, pretende-se avaliar a viabilidade da implementação do direcionamento de caixas por um meio automático, considerando questões de agilidade, economia de tempo e técnicas referentes à sua aplicação, a fim de contribuir para o desenvolvimento e crescimento da empresa. Será estabelecida uma comparação dos dados coletados e observados *in loco* com a revisão bibliográfica e com as informações coletadas no setor, a fim de analisar as vantagens e desvantagens da utilização do sistema de direcionamento de caixas automático.

De todas linguagens de programação disponíveis pela Norma IEC 61131-3, a linguagem utilizada foi a linguagem Ladder. Ladder é uma palavra inglesa que quer dizer escada, este nome está relacionado à representação gráfica dos contatos, ela é programada horizontalmente, em linhas paralelas, que lembram os degraus de uma escada (NUNES, 2011). O nome provém do fato que a disposição dos contatos e bobinas é realizada, de maneira geral, na vertical. A cada lógica de controle se dá o nome de *rung* (degrau), composta por linhas e colunas. A linguagem Ladder foi a primeira a se revelar na programação dos controladores lógicos programáveis, pois sua funcionalidade procurava se igualar aos antigos diagramas elétricos, utilizados pelos técnicos e engenheiros da época (WEISS, 2011).

2 METODOLOGIA

Para a execução deste projeto, se fez necessário a utilização de um inversor de frequência, pois quando as caixas saem do túnel de congelamento (TCM), as mesmas saem de forma contínua sem ter espaço entre elas, percorrendo assim por duas esteiras com velocidades constantes, logo, com a implementação do inversor foi possível aumentar a

velocidade de uma esteira. Foram utilizados três sensores sendo um deles para o sistema de contagem das caixas e os restantes para o direcionamento das caixas e intertravamento.

O projeto terá que atender os seguintes requisitos: Contagem da quantidade de caixas que foram processadas durante o dia ou determinado tempo estabelecido pelo usuário. Quando a caixa se dirigir para o lado esquerdo e o sensor acusar a presença da mesma, o sistema deve atuar para direcionar as caixas para o lado direito, e vice versa. Se os dois sensores de direcionamento acusarem produtos, conseqüentemente a esteira de alimentação deve parar para não acumular caixas e não danificá-las. Apresentar o funcionamento com embasamento em simulação. Usar o software clic edit-02 WEB para simulação e programação do CLP. Implementação do sistema. Apresentar o funcionamento através de fotos e dados. Demonstrar vantagens posteriormente à implementação. Apresentar dados comparativos entre o sistema projetado e o antigo.

2.1 Resultados

Este trabalho teve o intuito de automatizar o direcionamento de caixas, visto que tem-se agora uma noção geral sobre CLP, sensoramento e todos os componentes a serem utilizados, cabe a parte deste momento, demonstrar os resultados obtidos com a aplicação dos mesmos, evidenciando como o sistema reagiu de acordo a situações determinadas com a programação executada.

Em um primeiro momento foi montada a central onde ficam todos os componentes a serem utilizados, desde fontes, válvulas, CLP, etc. Após este processo de montagem foi acoplado um braço mecânico acionado por sistema pneumático juntamente ao sistema de controle CLP. No processo de sensoramento foram realizadas diversas formas de posicionamento e ajustes para melhor encontrar posições onde o sistema funcionasse livremente, pois a precisão e a exatidão eram de grande importância. Para melhor esclarecimento é demonstrado nas figuras 2 e 3 imagens de como ficou o sistema implementado.

Em termos de ganhos na produtividade, com o uso do inversor, aumentou-se a velocidade da esteira de 0,296m/s para 0,37m/s, reduziu-se o tempo gasto por peça, pois anteriormente eram processadas 800 caixas por hora, logo, com a execução deste sistema a quantidade por hora passa a ser de 1000 caixas. O que representa um aumento de 20% na produtividade por hora.

Figura 5 - Componentes utilizados.



Figura 6 - Sistema completo instalado.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao testar o projeto o mesmo obteve êxito em seu funcionamento realizando a lógica de programação elaborada no trabalho com sucesso. Assim, tem-se que a utilização de CLP é uma aplicação atual sendo capaz de realizar controle de diferentes tipos de processor por meio de uma programação didática para quem tem familiaridade com diagramas de comandos, sendo ele atualmente no âmbito da automação industrial.

Conclui-se, então, que as propostas inicialmente mencionadas foram desenvolvidas com sucesso, pois após implementação do sistema completo, desde sensoriamento e atuação pneumática todos trabalharam integradamente sem que perdas de produtos viessem ocorrer. Também é possível identificar alguns aspectos positivos, o alcance dos objetivos propostos e as aplicações futuras para os conceitos e experimentos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

SILVA, C. *Automação e Controle. Clube da eletrônica*. 2011. Disponível em: <<http://www.clubedaeletronica.com.br/Automacao/PDF/Capitulo%20003%20-%20Normalizacao%20IEC61131.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

MASS, W. S. *Automação de um forno para tratamento de chapas com controle via CLP e sistema supervisorio*. Trabalho de estágio supervisionado. Universidade Regional de Blumenau. Curso de Ciências da Computação. 2000. Disponível em: <<http://dsc.inf.furb.br/arquivos/tccs/monografias/2000-2wandersamuelmaassvf.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

NUNES, D. *Programação em Linguagem Ladder – Linguagem de Relés*. Centro de Educação a Distância. 2011. Disponível em: <https://daniellnunes1.files.wordpress.com/2012/11/u2_linguageladder1.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2016.

WEISS, C. et al. *Automação de um protótipo de elevador industrial didático*. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial. 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/554/1/MD_COMIN_2011_2_09.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2016.

CONTROLE DO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO DE UMA PLANTA FRIGORÍFICA

Márcio Sgarabotto

Hamilton C. Sartori

Resumo: Em um sistema de refrigeração à amônia existem máquinas para comprimir, condensar, evaporar e bombear o fluido refrigerante. As temperaturas a serem atingidas nos ambientes refrigerados dependem diretamente dos níveis de pressão envolvidos em cada etapa, tornando seu monitoramento e controle de suma importância em sistemas como estes. Neste sentido, este trabalho apresenta um sistema supervisorio para controlar os compressores, condensadores e bombas de fluido refrigerante, amônia, de uma planta fabril.

Palavras-chave: Automação. Refrigeração industrial. Supervisorio.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o surgimento da automação está ligado à mecanização. O objetivo era simplificar o trabalho do homem, de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, valorizando o tempo útil para as atividades do intelectual, das artes, lazer ou simplesmente entretenimento (NATALE, 1995).

Essa evolução se deu, inicialmente, por meio de dispositivos mecânicos, hidráulicos e pneumáticos, mas, com a evolução da eletrônica, esses dispositivos foram sendo substituídos, de tal maneira que, hoje, a microeletrônica assumiu o papel da produção automatizada. Na atualidade, o homem, utilizando técnicas de inteligência artificial materializadas pelos sistemas computadorizados, instrui um processador de informações que passa a desenvolver tarefas complexas e tomar decisões rápidas para controle do processo (ROSÁRIO, 2005).

Em ambientes insalubres, onde a saúde e até vida humana podem correr algum risco, a automação industrial surge como fundamental. Os atuadores automatizados substituem com maior eficiência o ser humano, atrelando maior confiabilidade do sistema, preservando a integridade física de um possível operário atuador. Um exemplo claro deste benefício ocorre em um sistema de refrigeração a base de amônia, onde é necessária a constante verificação de pressões do sistema de refrigeração. Caso ocorra uma falha mecânica, a integridade física do operador corre sério risco devido à toxicidade da amônia. A amônia é um agente tóxico, com propriedade alcalina corrosiva e pode ser explosiva quando em concentrações de 16 a 25% no ar. Porém, é muito utilizada em sistemas de refrigeração de grande porte como em instalações frigoríficas. A amônia é considerada um fluido refrigerante de ótimo desempenho termodinâmico, além de possuir baixo custo e não agredir a camada de ozônio quando

comparada a outros fluídos refrigerantes. A amônia, em um sistema de refrigeração por compressão de vapores, em uma de suas fases do ciclo frigorífico, se apresenta liquefeita à alta pressão, isso significa, em caso de vazamento nessa fase, a massa de amônia vazada ocuparia um volume 850 vezes maior no ambiente, formando, assim, nuvens de vapor tóxico de grande porte (LOPES, 2015).

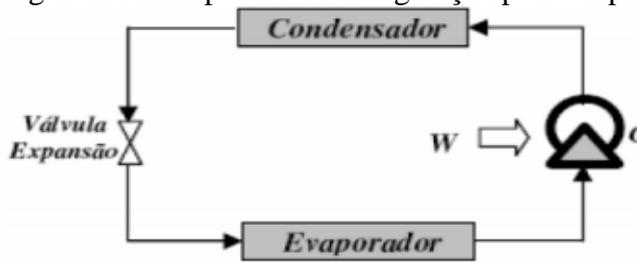
Conforme Duran e Gaspodini (2009), a refrigeração é o processo de redução e manutenção de temperatura de um espaço ou material abaixo da temperatura ambiente. Portanto, refrigerar significa esfriar constantemente, conservando o frio, extraindo temperatura de um corpo que se pretende esfriar, transferindo-a para um corpo de temperatura maior. Na indústria alimentícia seu uso é para conservar os alimentos e atender a normas que regulamentam as atividades neste segmento de atividade.

Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle para o processo de refrigeração por amônia (NH₃) de uma planta frigorífica. O processo é desenvolvido com a implementação de um CLP para controlar as variáveis de operação, informando-as através do sistema supervisor desenvolvido para o controle dos equipamentos.

1. ESTADO DA ARTE

A refrigeração por compressão de vapor é a mais usada no condicionamento de ar de ambientes e em equipamentos frigoríficos para resfriamento e congelamento de produtos. Neste sistema o fluído refrigerante entra no evaporador a baixa pressão, na forma de mistura de líquido mais vapor, e retira energia do meio interno enquanto passa para o estado de vapor de amônia. O vapor entra no compressor onde é comprimido e bombeado, tornando-se vapor superaquecido e deslocando-se para o condensador, que tem a função de liberar a energia retirada do ambiente. O fluído, ao liberar energia, passa do estado de vapor superaquecido para líquido (condensação) e finalmente entra no dispositivo de expansão, onde tem sua pressão reduzida, para novamente ingressar no evaporador e repetir-se assim o ciclo (FERRAZ, 2008). A Figura 1 ilustra este sistema.

Figura 7: Ciclo padrão de refrigeração por compressão. Fonte: (GARCIA et al., 2007).



Os sistemas supervisórios possibilitam monitorar e rastrear informações de um processo produtivo ou instalação física que são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) (DANEELS, 2000).

2. SISTEMA SUPERVISÓRIO

Para o desenvolvimento do projeto, foram analisados, inicialmente, os componentes instalados na planta fabril e a forma como o gerenciamento e a operação do processo devem ser feitos. Foram coletadas as informações que constituem o sistema, também foi realizada a verificação das necessidades operacionais dos usuários, como visualização em tempo real dos compressores e dos condensadores de resfriamento, pressões do sistema, temperaturas da sala de máquinas, entre outras. Por fim, definiu-se o controlador lógico programável (CLP) e o sistema supervisório a serem utilizados.

Na sequência, foi desenvolvido um programa para o CLP, as telas do sistema supervisório e realizada a comunicação entre o CLP mestre e os CLPs escravos, neste caso os CLPs escravos são os que controlam os compressores, e entre o CLP mestre e o sistema supervisório. Também foram realizados testes de funcionalidade do sistema implementado com posterior análise dos resultados obtidos.

2.1 Software de programação da interface e do CLP.

Na programação do sistema supervisório proposto, utilizou-se o software *Factory Talk View Site Edition* da fabricante Rockwell Automation. Este software de programação oferece uma estrutura de aplicação centralizada para gerenciar e editar qualquer componente de um sistema a serem supervisionados, como casas de máquinas, fábricas de rações, linhas de processamento de alimentos, linhas de produção de automóveis, entre outros.

Na programação do CLP foi utilizado o software RSLogix5000. Essa ferramenta é capaz de programar as famílias de CLP CompactLogix e ControlLogix da fabricante Rockwell Automation.

2.2 Desenvolvimento do sistema supervisório.

O desenvolvimento do programa (telas) do sistema supervisório foi baseado, principalmente, nas necessidades e dificuldades encontradas para a operação do sistema de refrigeração.

Na operação do sistema de refrigeração é de fundamental importância o controle das pressões de sucção e de descarga dos compressores, é através das diferenças entre estas pressões que será determinada a temperatura dos ambientes que estão sendo refrigerados.

2.2.1 Telas de operação do sistema.

Na tela inicial, no botão em forma de chave, é inserido o *login* do operador do sistema. A partir do momento em que o operador estiver “logado”, ele terá acesso ao menu e poderá operar todo o sistema. Nesta tela, o operador também poderá sair do sistema para que outro operador entre com um novo *login*, bloquear seu usuário e ir para a tela do menu principal. A partir desta tela, todas as demais telas criadas para este controle do processo de refrigeração, estarão acessíveis para leitura e escrita.

Figura 2: (a) Tela inicial de operação; (b) Menu principal.

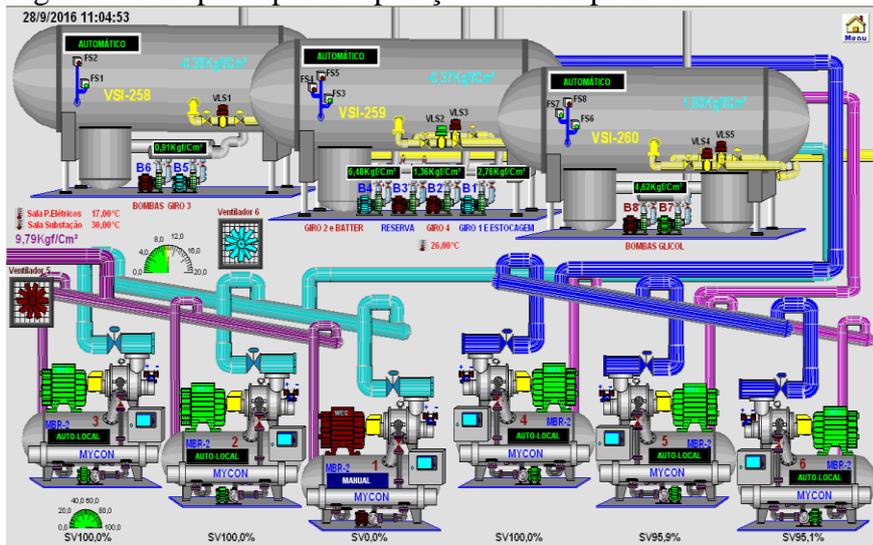


Na tela de operação dos compressores o operador terá acesso às condições dos níveis dos vasos separadores e suas pressões. Além disso, são verificados os motores de bombas que estão ligados ou desligados. Também é nesta interface que ocorre a maior interação do operador do sistema, pois é através dela que são apresentados os seguintes status:

- Pressão de sucção e descarga dos compressores.

- Temperatura da sala dos compressores.
- Temperatura da sala dos painéis elétricos de controle dos compressores e dos condensadores.
- Valores instantâneos da porcentagem de ocupação dos compressores.

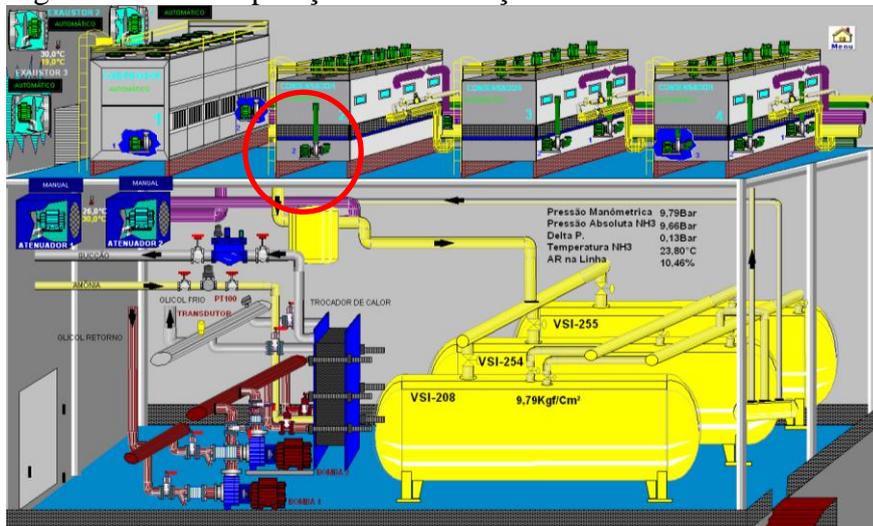
Figura 3: Tela principal de operação dos compressores.



Para a operação dos condensadores foram desenvolvidas telas auxiliares de visualização destes equipamentos.

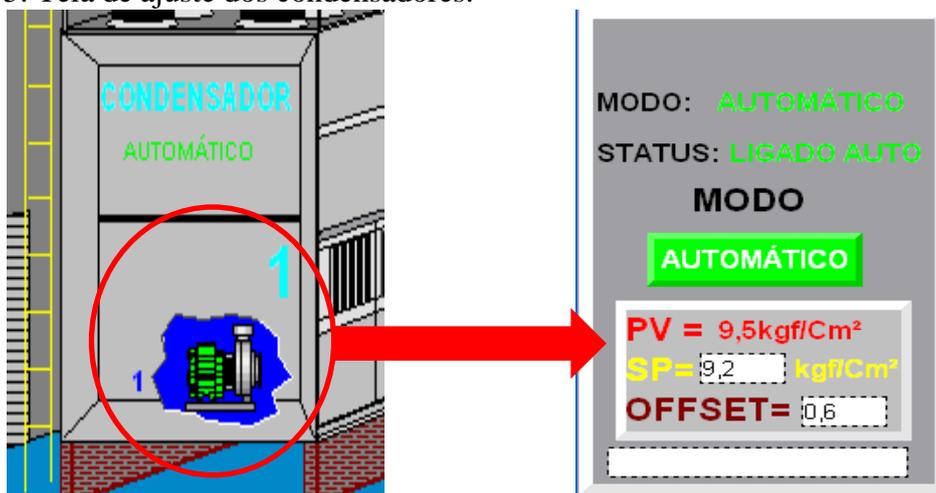
Com o objetivo de visualizar a situação em tempo real dos condensadores, o operador ao clicar sobre a tecla do menu da tela principal terá acesso à tela de operação e visualização dos condensadores.

Figura 4: Tela de operação e visualização dos condensadores.



Ao clicar sobre a área destacada com um círculo vermelho na Figura 4, em cada condensador será iniciada a tela de ajuste das pressões e do offset de cada máquina. Nesta tela também será visualizado o modo de controle, se automático ou manual, a pressão do sistema e a pressão “setada” pelo operador.

Figura 5: Tela de ajuste dos condensadores.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho desenvolvido pôde-se evidenciar que um sistema de refrigeração à amônia tem muitos elementos envolvidos e, para seu controle ser efetivo, é necessária a implementação de dispositivos de controle aprimorados para esta aplicação. Embora a amônia seja um gás perigoso devido a sua alta toxicidade, seu manejo é fácil desde que sejam observadas as normas de operação e de controle que foram implantadas ao longo da história da refrigeração. O uso de supervisórios com CLP para o controle da planta refrigerada por amônia demonstrou-se uma ótima técnica para garantir eficiência e segurança, pois foi uma forma de manter o sistema monitorado em tempo real.

A partir desta obra, a qualidade de operação do sistema melhorou, foi possível reduzir a quantidade de operadores do sistema, e obteve-se grande satisfação dos operadores que passaram a ter uma atividade menos desgastante e confiável.

Do ponto vista da eficiência energética, o sistema automático de operação desenvolvido apresentou significativos ganhos, pois além da melhoria na qualidade de vida dos operadores esse sistema possibilitou melhor aproveitamento dos equipamentos, ligando-os somente quando realmente necessário.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. *Instrumentação, controle e automação de processos*, 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

DANEELS, Alex. *What is SCADA?* 2000. Disponível em: <<http://ref.web.cern.ch/ref/CERN/CNL/2000/003/scada>>. Acesso em: 17 out. 2016.
DURAN, Jeronimo L. K.; GASPODINI, Uórani. “*Operador de Sala de Máquinas Refrigeração Industrial*”. Itajaí. SENAI, 2009.

FERRAZ, F.; *Apostila de refrigeração*. Santo Amaro, 2008. Centro federal de educação tecnológica da Bahia. 2010.

GARCIA, F. E. M.; BANDARRA FILHO, E. P.; MENDOZA, O. S. H. Avaliação do desempenho de um sistema refrigeração por compressão de vapor a velocidade variável. In: *17º Simpósio Do Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica*, 2007, Uberlândia.

LOPES, T. J., et al. Análise de risco aplicada a instalações industriais de refrigeração que utilizam amônia. In: *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas, REGET, UFSM, 2015*, p.160-166.

MORAES, Cícero Couto de. *Engenharia de automação industrial*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

NATALE, Ferdinando. *Automação industrial*. São Paulo: Érica, 1995.

PAIOLA, C. E. G. O papel do supervisor no atual contexto tecnológico. *InTech*, v. 132, p. 8, 2012. Citado na página 5.

ROSÁRIO, João Maurício. *Princípios de mecatrônica*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

STEPHAN, Richard M. *Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas*. Rio de Janeiro. Ciência Moderna, 2013.

EMULADOR DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BASEADO NO CONVERSOR FULL-BRIDGE CC-CC

Mateus José Tiburski (Autor)

Fabício Hoff Dupont (Orientador)

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo e projeto de um emulador de módulos fotovoltaicos. Estes equipamentos são muito empregados em ambientes laboratoriais para desenvolvimento e testes de dispositivos para aplicações fotovoltaicas. Os emuladores têm por objetivo reproduzir o comportamento de saída de um painel fotovoltaico real. A estrutura de potência do emulador é composta por um estágio de retificação seguido pelo conversor Full-Bridge CC-CC. O modelo de única exponencial da célula fotovoltaica recebe do usuário as referências de irradiação e temperatura, e a partir da tensão entre os terminais de saída do conversor Full-Bridge calcula a corrente teórica que serve como referência para o controle. O qual impõe, através do modulador PWM, esta corrente na saída do conversor. Um controlador PI com filtro é projetado no domínio do tempo e discretizado. A este controle emprega-se uma estratégia *Anti-Windup*, com ação de integração condicional, proporcionando assim um melhor desempenho em transitórios. Por fim, são apresentados os resultados, que comprovam a viabilidade do emulador fotovoltaico para variações de irradiação e temperatura.

Palavras-chave: Conversor CC-CC Full-Bridge, Retificador em ponte completa, Energia fotovoltaica, Controlador PI com filtro, Anti-Windup.

INTRODUÇÃO

A emulação de painéis fotovoltaicos tem um papel importante no desenvolvimento e testes de novos dispositivos associados à geração de energia elétrica através do sol. Pois, com estes equipamentos é possível fazer inúmeros testes que na prática seriam impossíveis de serem realizados devido à irregularidade do clima. Com estes emuladores é possível inserir valores de irradiação e temperatura desejados e obter as características de saída, tensão e corrente, de um módulo fotovoltaico real. Diminuindo assim o tempo e otimizando os testes em laboratórios de equipamentos que processam a energia com a rede pública, chamados de inversores CC-CA.

1 DESENVOLVIMENTO

1.1 Retificador monofásico em ponte completa

O estágio de entrada proposto neste trabalho é composto por um retificador em ponte completa a diodo, com filtro capacitivo na saída. Conforme Hart (2012), o objetivo de um retificador de onda completa é produzir uma tensão ou corrente de saída que seja puramente contínua ou que tenha alguma componente CC especificada. Para o dimensionamento dos

componentes do circuito foram consideradas as perdas nos diodos ideais, uma tensão de rede eficaz de 220 volts, trabalhando numa frequência de 60 Hz. A potência de operação do emulador foi convencionada em 600 W, isto porque, o intuito deste projeto é validar a operação do conversor e não a aplicação do sistema em arranjos fotovoltaicos. Para a obtenção dos valores dos componentes do retificador, apresentados na Tabela 1, foram baseados nas equações e no circuito elétrico equivalente apresentado por Hart (2012).

Tabela 3 - Parâmetros do retificador monofásico em ponte completa.

Parâmetro	Valor	Descrição
V_o	311,1 V	Tensão de saída
C	5,165 mF	Filtro capacitivo
R	161,33 Ω	Resistência de saída

1.2 Conversor Full-Bridge CC-CC

A utilização deste conversor deve-se a sua característica de saída em corrente e também por possuir em sua topologia isolamento galvânica entre a entrada e saída. O que garante, por ser um equipamento laboratorial, maior segurança em sua utilização. Seu circuito é composto basicamente por três estágios de potência: os das chaves, no qual transformam a tensão CC em pulsos alternados, o estágio composto pelo transformador abaixador e na saída pelos diodos que retificam novamente a tensão. O dimensionamento do conversor será baseado novamente nas equações apresentadas por Hart (2012), adotando a tensão de saída do retificador como fonte de alimentação do conversor, uma frequência de chaveamento de 45 kHz e uma razão cíclica de 0,3. Os valores encontrados são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 4 - Parâmetros do conversor Full-Bridge.

Parâmetro	Valor	Descrição
L	1,055 mH	Indutância
C	10416 μ F	Capacitância
R_o	2,667 Ω	Resistência de saída

1.3 Modelagem e controle do conversor Full-Bridge CC-CC

A obtenção da Função de Transferência do conversor é realizada através da modelagem no espaço de estados. Esta técnica tem como objetivo fornecer uma expressão matemática que contenha informações sobre o comportamento estático/dinâmico do sistema.

Esta função que descreve o comportamento do conversor é apresentada por Faria (2012) em seu trabalho, aplicando os valores encontrados na Tabela 2 na função, tem-se

$$G(s) = \frac{s \times C \times R_o + 1}{s^2 \times C \times R_o \times L + s \times L + R_o} \times v_s = \frac{0,0003451 s + 124,2}{2,93 \times 10^{-09} s^2 + 0,001055 s + 2,667} \quad (1)$$

sendo v_s a tensão no secundário do transformador do conversor.

Para o projeto do controlador PI com filtro é utilizada a ferramenta *Sisotool* do Matlab. No entanto, utilizando critérios de alocação de polos e zeros adotados por Oliveira (2006), como: O zero do controlador deve estar posicionado na frequência de um dos polos da planta. Para garantir uma margem de fase entre 45° e 90° e uma boa resposta dinâmica, mantendo a estabilidade da malha, indica-se que a frequência de cruzamento ou de corte (f_c) menor que $1/4$ da frequência de chaveamento. O segundo polo do compensador deve ser posicionado na metade da frequência de chaveamento do conversor. Sendo este polo e o ganho ajustados heurísticamente para atender um sobressinal de no máximo 2,5% e um tempo de acomodação em torno de 0,1 ms. Com isso, aplicando os critérios de alocação e ajustando o ganho e um dos polos tem-se a seguinte função.

$$C_i(s) = \frac{24199(s + 2539)}{s(s + 82480)} \quad (2)$$

Para a transformação do controle dado pela função (2) para a forma digital, é utilizado o método de Tustin, o qual tem como característica transformar uma função de transferência contínua estável, em uma função discreta também estável. Aplicando este método tem-se o controle discreto dado por

$$C_i(z) = \frac{0.09349z^2 + 0.002601z - 0.09089}{z^2 - 1.372z + 0.3715} \quad (3)$$

Contudo, Neto (2005) apresenta que controladores com termos integrais têm como característica em grandes transitórios continuar integrando o erro, este fenômeno é chamados de *Windup*. Para contornar este problema é utilizada neste projeto uma estratégia de *Anti-Windup* com ação de integração proporcional. Esta ação tem como característica inibir o integrador sempre que houver saturação do controle, apresentada pela Figura 1(a). Esta ação é dada, segundo Dupont (2012), através da separação dos termos integrais por frações parciais obtidas por meio de (3), dadas por

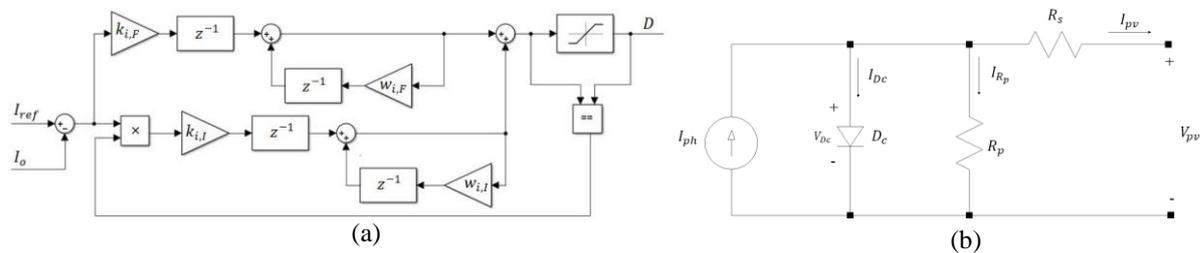
$$C_{i,I}(z) = \frac{k_{i,I}}{z - w_{i,I}} = \frac{8,2709 \times 10^{-3}}{(z-1)} \text{ e } C_{i,F}(z) = \frac{k_{i,F}}{z^{-1} - w_{i,F}} = \frac{122,55 \times 10^{-3}}{(z-0.3715)} \quad (4)$$

1.4 Modelo de única exponencial de uma célula fotovoltaica

Este modelo recebe este nome, devido à presença de um único diodo no circuito e o comportamento matemático deste semicondutor é representado por uma exponencial, seu circuito é ilustrado na Figura 1(b). A modelagem da Figura 1(b) é apresentado por De Soto (2004) onde o autor demonstra a obtenção da equação dada por:

Figura 8 - Técnica de *Anti-Windup* com ação de Integração Condicional (a); Circuito elétrico do modelo de única exponencial de uma célula fotovoltaica (b).

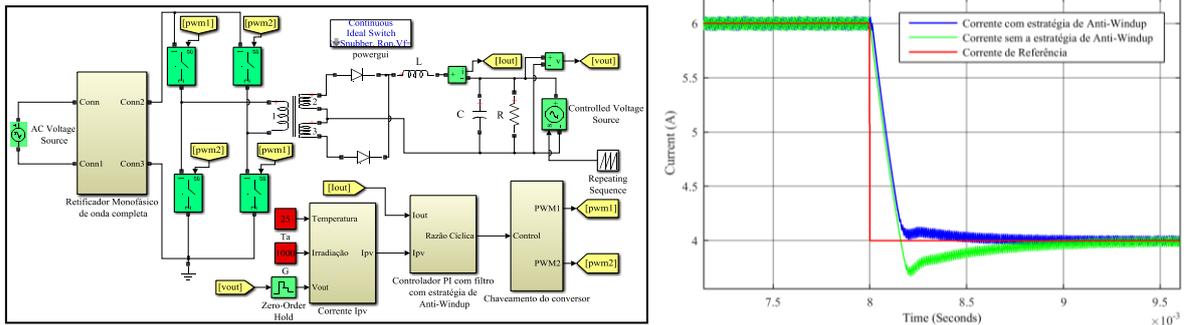
$$I_{pv} = \frac{S}{S_{ref}} \times \left[I_{sc}^{ref} + (T_a - T_{ref}) \times \mu_{icc} \right] - I_o \left(e^{\frac{V_{pv} - I_{pv} \times R_s}{a}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} - I_{pv} \times R_s}{R_p} \quad (5)$$



SIMULAÇÕES E RESULTADOS

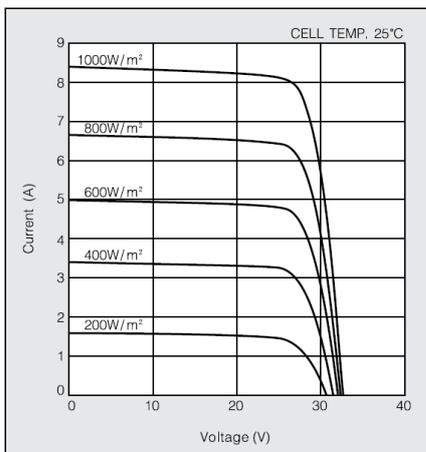
Para a validação do sistema, a simulação será feita individualmente. Primeiramente, será apresentada a validação do controlador operando em duas condições, com e sem a estratégia de *Anti-Windup* e após o conversor operando como emulador de módulos fotovoltaicos. A Figura 2(a) apresenta o circuito do emulador proposto no *Simulink* do Matlab, programa utilizado para a simulação dos resultados. A Figura 2(b) apresenta os resultados de simulação do controlador, note que comparando as correntes de saída do conversor com e sem a técnica *Anti-Windup*, vê-se que a corrente com esta estratégia possui um tempo de acomodação menor e não possui um sobressinal, melhorando assim o desempenho do sistema.

Figura 9 - Circuito completo do emulador fotovoltaico proposto (a); Corrente de saída do conversor com e sem a estratégia de *Anti-Windup*.

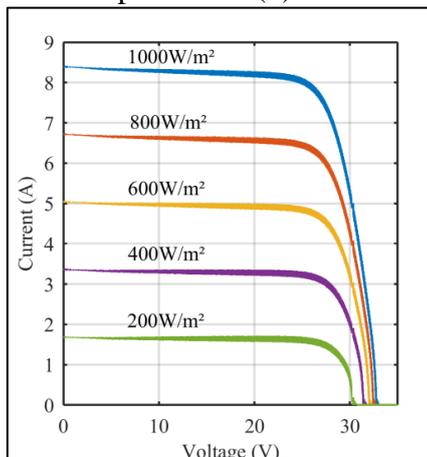


Para o conversor operar de maneira análoga a um módulo fotovoltaico é utilizada a função apresentada na Seção 2.4 como corrente de referência para o controlador e este fará através da mudança da razão cíclica do conversor, faça com que esta corrente do modelo de única exponencial seja a mesma presente na carga do emulador. Para validar o conversor Full-Bridge CC-CC como um emulador de módulos fotovoltaicos são apresentadas na Figura 3 as curvas IV produzidas pelo emulador junto com as curvas I-V de um módulo fotovoltaico real, retiradas do catalogo do fabricante do painel KD205GX-LP. Para esta simulação, são inseridas as características construtivas e de saída do painel KD205GX-LP no modelo de única exponencial. Fazendo uma comparação visual entre as duas Figuras 3(a), curvas IV retiradas do fabricante, e 3(b), curvas IV produzidas pelo emulador, vemos a grande semelhança existente entre as duas. Com isso é possível comprovar a viabilidade do conversor operando como um emulador de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Kyocera Group (2015) (a); Elaborado pelo autor (b).



(a)



(b)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como intuito demonstrar resumidamente o projeto de um emulador de módulos fotovoltaicos a partir do uso do conversor Full-Bridge CC-CC o qual mostrou-se muito viável neste tipo de aplicação, emulando de maneira eficiente as características de saída de um painel solar real.

REFERÊNCIAS

DE SOTO, W. *Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance*. Thesis (Master of Science Mechanical Engineering) - Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2004.

DUPONT, F. H. Estudo, análise e implementação de uma metodologia para otimização de rendimento em sistemas compostos por conversores em paralelo. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2014.

FARIA, J. H. S. *Conversor CC-CC elevador de tensão Full-Bridge para aplicação em células a combustíveis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Núcleo de Pesquisas em Eletrônica de Potência (NUPEP), Universidade Federal de Uberlândia – UFA, Uberlândia, MG, 2012.

HART, D. W. *Eletrônica de potência: análise e projeto de circuitos*. Porto Alegre: AMGH, 2012.

NETO, A. H. *Técnicas Anti-Windup em estruturas de controle PID, RST e GPC*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, 2005.

OLIVEIRA, S. V. G. *Conversor CC-CC elevador trifásico com isolamento em alta frequência*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2006.

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE ELETRIFICADORES DE CERCA PARA PROTEÇÃO DE PERÍMETROS: MEDIÇÃO DE GRANDEZAS E ATENDIMENTO A NORMAS

Mauro de Souza

Aquiles Rossoni

Resumo: Cercas elétricas protegem contra invasões pelo efeito psicológico. Não podem causar danos físicos graves porque devem respeitar as normas IEC, ABNT e INMETRO, que definem tensão, corrente, quantidade e intervalo dos pulsos elétricos gerados pelo eletrificador de cerca. Os fabricantes informam os valores, mas como saber se entregam o que prometem? Baseado nisso foi proposta uma metodologia de análise para verificar se as grandezas elétricas atendem às normas e se estão de acordo com o informado. A metodologia foi baseada em dois ensaios: com um Joulímetro que fornecia a tensão (V), energia (J) e os tempos dos pulsos, e com uma ponteira de alta tensão conectada a um osciloscópio, onde dados foram obtidos para análise utilizando o Matlab. Os resultados dos métodos foram semelhantes, conclui-se que os eletrificadores atendem às normas, porém, a maioria dos onze modelos não forneceram a tensão e energia prometida, concluindo-se que não funcionam adequadamente e não são eficazes.

Palavras-chave: Proteção de perímetros, choque elétrico, cerca elétrica.

INTRODUÇÃO

As cercas elétricas usam eletricidade para proteger um determinado perímetro. O foco deste trabalho será o seu uso como sistema de segurança patrimonial. Historicamente o homem sempre precisou de proteção e buscou encontrar o lugar mais seguro para viver, passados milênios encontra-se o homem do século XXI com a necessidade semelhante de proteção, basta notar-se a grande expansão dos condomínios fechados que na maioria das vezes são dotados de cercas elétricas. Os eletrificadores de cerca são dispositivos eletrônicos que geram pulsos de alta tensão, de baixíssima corrente e em intervalos de milésimos de segundos, o que os torna inofensivos ao homem. A energia liberada a cada descarga deve ser bastante dolorosa para repelir a invasão, porém não poderá oferecer riscos a vida, por esse motivo existem normas que estabelecem limites das grandezas elétricas. Porém, gerar tensão (kV) e energia (J) entregue aos arames do perímetro eletrificado, não resultará em uma proteção eficaz. Neste contexto, conclui-se que a comprovação de que esses dispositivos geram a energia necessária, atendem às especificações apresentadas nos seus manuais, de acordo com as normas, e principalmente se são seguros para o homem, merecem ser objeto de estudo mais detalhado. Baseado na justificativa apresentada anteriormente, este trabalho tem o objetivo geral de estabelecer uma metodologia de análise de eletrificadores de cerca, de forma a verificar o seu atendimento às normas de segurança e verificar se as suas grandezas

representam uma barreira passível de causar dor através do choque elétrico. Os objetivos específicos são: realizar uma revisão bibliográfica dos efeitos do choque elétrico no corpo humano; descrever os eletrificadores de cerca; desenvolver uma metodologia de análise das grandes elétricas de interesse: o valor da tensão de saída em (kV) nos bornes do eletrificador de cerca em razão de uma resistência conhecida, o valor de energia (J) liberado em razão de uma resistência conhecida, o valor do intervalo entre os pulsos liberados em segundos (s) e o valor da largura do pulso liberado em segundos (s); realizar ensaios em um conjunto de eletrificadores de cerca comerciais, comparando com os resultados de um Joulímetro e concluir sobre as especificações dos eletrificadores testados, se atendem às normas e se são eficazes.

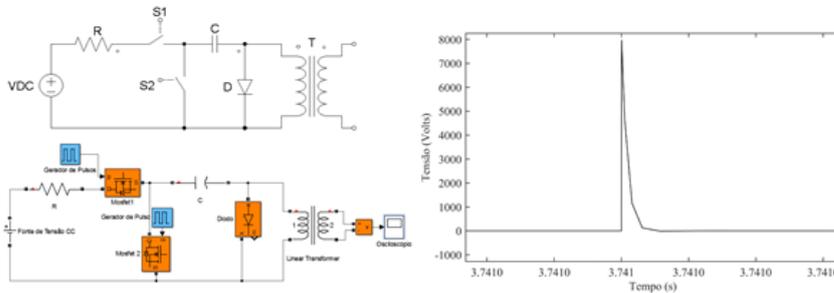
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo discorre sobre o choque elétrico, a história do uso da eletricidade para proteção de perímetros e o princípio de funcionamento do circuito eletrônico.

1.1 O choque elétrico, a história e o funcionamento do circuito eletrônico

A eletricidade é um fenômeno natural que sempre fez parte da vida do homem, por isso é justificável estudar os efeitos do choque elétrico, suas causas, consequências e como usar a eletricidade como sistema de segurança patrimonial, mas sem causar riscos à vida. Segundo (KINDERMANN, 2013), o choque elétrico pode ser definido como uma anomalia ou perturbação que produz efeitos importantes no organismo humano, o eletrificador de cerca gera pulsos que se assemelham ao choque estático, aquele produzido pela descarga elétrica de um capacitor, esta descarga será de grande tensão elétrica (V), baixíssima corrente (A), duração de milésimos de segundos, pulsante e em intervalos de tempo (segundos). Segundo (LEITHOLD, 2016) em 1962 o neozelandês Doug Phillips inventou a primeira cerca eletrificada baseada em descargas elétricas, e esse é o conceito usado até hoje. O conhecimento detalhado dos circuitos eletrônicos de eletrificadores de cerca comerciais não é possível, por questões de sigilo das empresas, porém, o seu funcionamento pode ser entendido através da simulação no *Software* Matlab, demonstrada na Figura 1, onde um gerador de pulsos produz ciclos de carga e descarga de um capacitor de 22 μ F/450 V, ligado ao primário de um transformador que aumenta a tensão de 300 Vdc para um $V_{m\acute{a}x}$ típico no secundário de 8000 V aproximado e pulsante.

Figura 10 - Circuito gerador de pulsos básico.



1.2 O sistema de proteção de perímetros com cerca elétrica

A energia (J) liberada na saída de qualquer eletrificador é a informação fundamental para que se possa avaliar a real potência de qualquer equipamento e sua capacidade de eletrificar uma determinada extensão de arame, esta energia que informa se existe a realização de trabalho. Como este choque depende diretamente da energia disponível nos arames no momento em que o intruso toca, o efeito produzido é o equivalente ao de uma forte contração muscular (SOUZA DE, 2016). Sobre a legislação vale ressaltar que a principal norma é a ABNT NBR IEC 60335-2-76:2007 que trata especificamente sobre equipamentos eletrificadores de cercas e que define os limites quando submetidos a uma carga de 500Ω : energia máxima de 5 Joules; tipo de corrente: pulsante; intervalo dos impulsos elétricos (média) de 50 pulsos/minuto; duração dos impulsos elétricos menor que 0,001 s ou 1 ms. A corrente máxima permitida deve ser, considerando corrente RMS (I_{rms}) em miliamperes e depende da duração do pulso (D) em milissegundos, como demonstra a Equação 1. Esta norma é considerada conservadora, ou seja, os limites estabelecidos são adequados com uma certa margem de segurança (KROLL, PERKINS, PANESCU, 2015).

$$I_{rms} = 2806 \times D^{-0.746} \quad (1)$$

1.3 Método de análise proposto e análise de resultados

O método proposto estabelece ensaios em laboratório para verificar o atendimento das grandezas de acordo com as normas técnicas vigentes, submeter os eletrificadores a ensaios em laboratório, usando um Joulímetro, um osciloscópio e uma ponteira de alta tensão (SOUZA DE, 2016), objetivando medir o comportamento da tensão, energia e dos tempos de intervalo e duração dos pulsos, com a saída sem carga, com 500Ω (de acordo com a norma ABNT) e 200Ω (resistência arbitrada). Com os valores adquiridos no osciloscópio, criou-se

um algoritmo no *software* Matlab que possibilitou obter a tensão de saída, a potência de saída, o tempo de duração dos pulsos e a energia dos pulsos.

Os valores de energia (%J) e de tensão (%V), foram obtidos respectivamente, pelo quociente da energia medida (J_m) vezes 100, pela energia informada pelo fabricante (J_i) e o quociente da tensão medida (V_m) vezes 100, pela tensão informada pelo fabricante (V_i), como demonstra a Equação 2.

$$\%J = \frac{J_m \times 100}{J_i} \Leftrightarrow \%V = \frac{V_m \times 100}{V_i} \quad (2)$$

Os valores obtidos no osciloscópio foram inseridos no *software* Matlab. Foi arbitrado um intervalo, próximo ao início e fim do pulso. Foi considerado que a onda é formada por pontos no tempo discreto e considerando que a potência de cada ponto ou intervalo da amostra (T_s), pode ser calculada sabendo que a potência neste intervalo (P_t) é obtida a partir da tensão no tempo (V_t) e uma resistência (R) de 500Ω , então pode-se obter a energia no intervalo (E_t) a partir da potência no tempo (P_t) e o intervalo da amostra (T_s) e a energia total no tempo em joules (E_p) pelo somatório de todos os pontos do intervalo considerado (E_t), como demonstra a Equação 3 (SOUZA DE, 2016).

$$P_t = \frac{V_t^2}{R} = \frac{V^2}{500} \Leftrightarrow E_t = P_t \times T_s \Leftrightarrow E_p = \sum E_t \quad (3)$$

Segundo (KINDERMANN, 2013) o efeito de contração muscular está associado à energia entregue ao corpo humano. A relação de efeito entre correntes CC e CA é de 3,2 vezes, ou seja, de 5~15 mA(CA) equivale a 16~48 mA(CC) e de 15~25 mA(CA) equivale a 48~80 mA(CC). Considerando que a frequência dos eletrificadores é basicamente de 1 Hz, pode-se comparar esta energia entregue por segundo com a energia entregue em cada pulso. Considerado carga de 500Ω , pode-se verificar a energia entregue por estas correntes a cada segundo, a partir da Equação 4:

$$E = I^2 \times R \quad (4)$$

Pelo método demonstrado, pode-se propor que a energia mínima necessária para causar contrações musculares deve estar entre 0,128 a 1,152 J, porém a energia eficaz para produzir contrações musculares violentas e dor, deve estar entre 1,152 a 3,2 J.

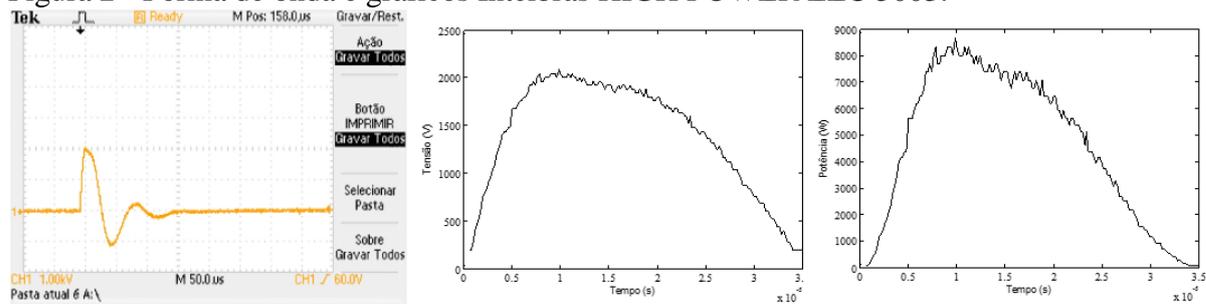
2 ESTUDO DE CASO

Para este estudo foi escolhido o eletrificador de cerca marca Intelbras, modelo HIGH POWER ELC 5003 1,2 Joules. Outros dez modelos foram testados e os resultados obtidos foram apresentados na monografia (SOUZA DE, 2016).

2.1 Ensaios com Joulímetro e pelo método proposto

O eletrificador era novo, em perfeitas condições de funcionamento, ligado à rede elétrica convencional e a uma bateria de 12V 7Ah, com plena carga conectada. A Figura 2 demonstra a forma de onda capturada no osciloscópio, o gráfico da tensão (V) em função do tempo (s) e o gráfico da potência (W) em função do tempo (s), no *Software* Matlab.

Figura 2 - Forma de onda e gráficos Intelbras HIGH POWER ELC 5003.



A Tabela 1 demonstra os resultados dos ensaios com Joulímetro e com *Software* Matlab.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios com Joulímetro.

ios	Ensa	Sem	C	T	.	%	%
	ios	carga(kV)	arga	ensão	oule	Energia	Tensão
			(Ω)	(kV)	(J)	entre	entre
						gue (J)	gue (V)
metro	Joulí	8,10	500	5,10	2,17	16,7	25,9
ab	Matl	8,10	500	5,08	2,16	13,4	25,7

O eletrificador atende os limites das normas. Com 500 Ω entregou 16,7% da energia e 25,9% da tensão. Com 200 Ω entregou 8,3% da energia e 12,3% da tensão, especificada pelo fabricante. Concluiu-se que com 500 Ω entregou energia (J) dentro dos limites para causar contrações musculares e com 200 Ω não alcançou o limite mínimo, porém se mostrou ineficaz

pelo método proposto porque não entregou energia suficiente para causar contração muscular violenta para os dois casos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos concluiu-se que a maioria dos eletrificadores de cerca testados, nove dos onze, não apresentaram desempenho satisfatório em relação à tensão e energia entregues aos elementos externos, ou seja não são eficazes para entregar energia suficiente para causar dor e proteger um perímetro contra invasões (SOUZA DE, 2016). O trabalho contribui para uma melhor compreensão no sentido de verificar se os eletrificadores de cerca são seguros, se de fato funcionam e são eficazes, além de fornecer uma metodologia científica confiável para testar esses equipamentos.

REFERÊNCIAS

KINDERMANN, G. *Choque Elétrico*. Volume 4, Edição do Autor, Editora UFSC Labplan, Florianópolis, 2013.

KROLL, M. W.; PERKINS, P. E.; PANESCU, D. Electric Fence Standards Comport with Human Data and AC Limits. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2015, Milan. Proceedings... [S.l.: s.n.], 2015. p. 1343-1348.

LEITHOLD, A. A. *O Eletrificador Eletrônico de Cercas*. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/eletrificadordecercasrural/home/eletrificador-eletronico-de-cercas>> Acesso em: 25 nov. 2016.

SOUZA DE, M. *Metodologia de análise de eletrificadores de cerca para proteção de perímetros: medição de grandezas e atendimento a normas*, 2016. (Bacharel em Engenharia Elétrica) Monografia de Conclusão de Curso apresentada a URI-FW, Frederico Westphalen, RS, 2016.

UM ESTUDO DE CASO DA TELEFONIA IP EM REDES CONVERGENTES COM A UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO SIP

Rafael Pollon (Autor)

Fabrcio H. Dupont (Orientador)

Resumo: Com a descoberta da digitalização da voz, surgiu a telefonia digital, com ela, em meados da década de 1990 veio a necessidade de um protocolo mais simples se comparado aos atuais que realizavam esse tipo de serviço, foi ai que o SIP foi desenvolvido. Do Inglês: *Session Initiation Protocol* ou Protocolo De Iniciação De Sessão, é um protocolo baseado no modelo requisição-resposta e utilizado para estabelecer chamadas pela rede IP de maneira simples. Neste trabalho, será realizado um estudo de caso que visa apresentar a fundamentação desse protocolo que é o mais utilizado atualmente na telefonia IP, e quais as técnicas para o bom funcionamento dele em redes de comunicação convergentes.

Palavras-chave: Telefonia digital; SIP; Redes Convergentes.

1 TRANSPORTANDO VOZ SOBRE UMA REDE DE PACOTES

Na telefonia digital, o meio de transmissão da informação é a rede IP, fica clara a principal vantagem sobre a rede de transmissão analógica. Utiliza-se um caminho já existente que conecta computadores ao redor do mundo para transportar chamadas telefnicas, sem a necessidade direta de pagar mais por isso. Do inglês *Voice Over Internet Protocol* (VOIP), ou, Voz Sobre O Protocolo de Internet, é o nome dado  telefonia que funciona com o uso da rede IP. Dessa forma, o VOIP utiliza os protocolos TCP e UDP para estabelecer ligação e mandar mdias RTP, destinadas a um endereço IP que pode estar em qualquer lugar do mundo (HERSENT; GUIDE; PETIT, 2002).

1.1 Sinalização

Para que uma chamada de áudio seja estabelecida, o servidor de telefonia precisa receber do assinante o número completo a ser chamado, estabelecer o caminho para a chamada e avisar ao outro assinante que existe uma chamada para ele. O sistema que cumpre estas função em uma rede de telefonia é chamado de sinalização.

1.2 O protocolo de sinalização SIP

Do inglês *Session Initiation Protocol* (SIP), ou Protocolo de Iniciação de Sessão, é um padrão da *Internet Engineering Task Force* (IETF) definido na RFC 2543. Este, que diz a

respeito de um protocolo que utiliza o modelo requisição-resposta para estabelecer chamadas telefônicas pela rede IP (RFC 2543, 1999).

1.3 Os pedidos SIP

Como o protocolo é baseado em requisição-resposta, alguns pedidos são utilizados para o funcionamento da sinalização, eles são ilustrados na tabela 1.

Tabela 1 – Pedidos SIP.

Método	Descrição
INVITE	Usado para iniciar uma chamada
ACK	Enviado pelo cliente para confirmar que ele recebeu uma resposta do servidor
BYE	Enviado pelo agente de origem ou pelo agente de destino para interromper uma chamada
CANCEL	Enviado quando se quer interromper um pedido que foi enviado anteriormente, enquanto o servidor ainda não tiver enviado uma resposta final.
OPTIONS	Enviado ao servidor pelo cliente para saber as capacidades que o servidor suporta
REGISTER	Registra a localização atual de um determinado cliente.

1.4 As respostas SIP

Um servidor SIP responde a um pedido com uma ou mais respostas SIP. A primeira linha de uma resposta SIP contém um código de status e uma frase inteligível por pessoas. A tabela 2 ilustra as seis categorias das respostas SIP.

Tabela 2 – As categorias dos códigos de status.

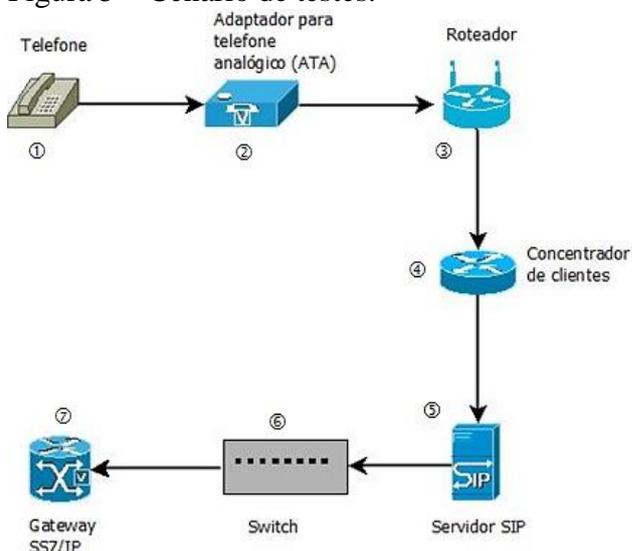
Códi go	Perfil	Descrição
1xx	Informativo.	Pedido recebido, continuando a processar o pedido.
2xx	Sucesso.	A ação foi recebida, entendida e aceita com sucesso.
3xx	Redirecionamento.	Uma ação adicional deve ser tomada para completar o pedido.
4xx	Erro de cliente.	O pedido contém uma sintaxe inválida ou não pode ser efetuado neste servidor.
5xx	Erro de servidor.	Erro de servidor.
6xx	Falha global.	Falha global.

Os grupos de códigos 2xx, 3xx, 4xx, 5xx e 6xx, são códigos de respostas finais e finalizam a transação SIP. O único código que não pode encerrar uma chamada é o 1xx, pois se trata apenas de um código informativo.

2 UM ESTUDO DE CASO DA TELEFONIA IP EM REDES CONVERGENTES COM A UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO SIP

Com o objetivo de investigar e avaliar o funcionamento do protocolo SIP e seu desempenho em um sistema de telefonia IP com redes convergentes, realizou-se o estudo de caso cujo cenário é ilustrado pela Figura 1.

Figura 5 – Cenário de testes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 A qualidade do serviço

2.1.1 A qualidade do serviço na rede local do usuário

A técnica mais utilizada para garantir a qualidade do serviço é nativa da maioria dos roteadores, denominada QoS – Quality of Service que, neste caso, serve para priorizar e garantir largura de banda para dispositivos dentro de uma rede.

2.1.2 A qualidade do serviço entre a rede do usuário e o servidor SIP

A qualidade do serviço entre a rede local do usuário e o servidor de voz, respectivamente entre os elementos ③, ④ e ⑤ da Figura 1, é do tipo PQ – *Priority Queuing*,

que faz um enfileiramento com prioridade e reserva largura de banda para determinado endereço IP.

2.1.3 A qualidade do serviço entre o servidor SIP e o Gateway SIP/SS7

Para garantir a qualidade do serviço na rede entre os elementos ⑤, ⑥ e ⑦ da Figura 1, foi configurado uma “VOICE VLAN”. No primeiro momento, a velocidade de transferência entre as duas Routerboards era de 10 Mbps e a partir do momento em que a chamada telefônica foi estabelecida pela VLAN 3, o switch garantiu uma prioridade para a VLAN 3.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o trabalho, O protocolo SIP foi explorado do ponto de vista teórico e prático, permitindo assim uma visão geral de seu funcionamento. Com esse conhecimento, foi possível utilizar técnicas que garantiram o bom funcionamento da telefonia IP em redes convergentes.

No primeiro estudo de caso, verificou-se que a utilização da técnica chamada *Quality Of Service* (QoS), que reservou uma pequena largura de banda no roteador da marca Intelbras, já garantiu a qualidade de serviço que é esperada para a telefonia IP, viabilizando assim seu uso neste tipo de rede local.

No segundo item avaliado, a utilização da *queue* com prioridade permitiu que uma largura de banda adicional ao plano de dados contratado fosse disponibilizada com destino ao servidor SIP, garantindo assim a qualidade do serviço para o tráfego de voz.

No item final, com a utilização da técnica no *switch* chamada "VOICE VLAN" comprovou-se a capacidade de limitar a utilização de uma VLAN sem prioridade, no momento em que há tráfego numa VLAN com maior prioridade, a qual, que realiza o transporte da voz.

Os mecanismos para garantir uma qualidade de serviço aqui estudados e avaliados, mostraram a sua importância no uso da telefonia em redes convergentes. O trabalho tratou de equipamentos que são básicos de uma rede IP e, com relação à perspectiva da utilização em uma rede maior com equipamentos diferentes dos sugeridos neste trabalho, cabe uma análise prática e testes para comprovar o funcionamento das técnicas propostas.

Como sugestão para trabalhos futuros, a telefonia IP poderia ser implementada em uma rede MPLS, onde os pacotes são rotulados no momento em que entram na rede e são

encaminhados com base no conteúdo dos rótulos. Isto proporciona vantagens como a velocidade de processamento dos pacotes, uma vez que o tempo gasto para encaminhar um rótulo é menor do que o tempo gasto para rotear um pacote, além de que, pode-se atribuir prioridade aos rótulos, o que também torna possível uma qualidade de serviço.

Outra possibilidade de trabalho futuro está no desenvolvimento de uma ferramenta para o servidor SIP que analisará cada chamada que é processada, medindo assim a qualidade do serviço e com esses dados, pode ser integrado com algum sistema de monitoramento que envia alertas quando em algum ponto da rede, está com problemas na qualidade do serviço, garantindo assim que toda a rede fique sempre monitorada.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, MARCELO SAMPAIO DE. *Telefonia Digital*. 4ª ed. São Paulo: Editora Érica, 1998.

FOROUZAN, BEHROUZ A. *Comunicação de dados e redes de computadores*. 4 ed. Editora: Crontec Ltda. 2007.

HERSENT, O; GURLE, D.; PETIT, J. - P. *Telefonia IP - Comunicação multimídia baseada em pacotes*: Addison-Wesley, 2002.

IETF - INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, *Request For Comments 2543, Session Initiation Protocol (SIP)*, mar. 1999. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2543.txt>>. Acesso em 30 de outubro de 2016.

IETF - INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, *Request For Comments 2705, Media Gateway Control Protocol (MGCP)*, out. 1999. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2705.txt>>. Acesso em: 30 out. 2016.

IETF - INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, *Request For Comments 3525, Gateway Control Protocol (GCP)*, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3525.txt>>. Acesso em: 30 out. 2016.

KUROSE, JAMES F.; ROSS, KEITH W. *Redes de computadores e a internet uma abordagem top down*. 5ª ed. São Paulo: Pearson Education, 2010.

LOUIS E; FRENZEL JR. *Fundamentos de comunicação eletrônica – modulação, demodulação e recepção*, 2013.

MEDEIROS, JÚLIO CESAR DE OLIVEIRA. *Princípios de telecomunicações - teoria e prática – 5. ed.* Érica, 2015.

MIKROTIK ROUTERS. *Feature catalogue Q1-Q2 2010*. Disponível em: <http://www.mikrotik.com/download/pdf/what_is_routeros.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

ODOM, W.; CAVANAUGH, M. *Cisco Qos exam certification guide (IP Telephony Self-Study)*, 2. ed. USA: Cisco Press, 2004.

STALLINGS, WILLIAM. *Redes e sistemas de comunicação de dados – teoria e aplicações corporativas*. Ed Campus, 2005.

TANENBAUM, ANDREW S. *Redes de computadores*. 4 ed. São Paulo: Pearson Education, 2003.

TRONCO, TÂNIA REGINA. *Redes de nova geração*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

A presente edição foi composta pela URI,
em caracteres Times New Roman,
formato e-book, pdf, em maio de
2017.