

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA COMO FERRAMENTA NA MANUTENÇÃO DE RETIFICADORES PARA PROTEÇÃO CATÓDICA – ESTUDO DE CASO

Rodrigo Machado da Silva Soares¹, Márcio Zamboti Fortes², André Luiz Oliveira Silva³, Mario César Motta de Freitas Souza⁴, Pablo Fernando Santana Brito⁵, Vitor Hugo Ferreira⁶

RESUMO: A proteção catódica é uma técnica utilizada para preservação das estruturas metálicas imersas em um eletrólito, cuja função é minimizar a corrosão a valores irrisórios. Para proteção de grandes estruturas se faz necessária a utilização de um equipamento com eletrônica de potência (retificador), denominada proteção catódica por corrente impressa. O objetivo do retificador é aplicar uma tensão contínua em anodos que se sacrificam em favor da estrutura metálica, polarizando-a e protegendo-a contra corrosão. Estes equipamentos são alimentados pela rede de distribuição de energia elétrica e podem gerar distúrbios harmônicos indesejáveis nestes sistemas. Este trabalho tem como finalidade avaliar os impactos causados pelos retificadores de proteção catódica por corrente impressa no sistema de distribuição de energia, relacionando a conceitos de qualidade de energia elétrica. Para validação deste trabalho, foi realizado um estudo de caso utilizando um analisador de qualidade de energia elétrica em um retificador de proteção catódica instalado em um gasoduto de uma concessionária de distribuição de gás natural.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de Energia, Proteção Catódica, Retificador, Manutenção.

INTRODUÇÃO

A proteção catódica pode ser definida como abrandamento ou prevenção total de todas as formas de corrosão em estruturas metálicas imersas em um eletrólito (LAZZARI e PEDEFERRI, 2006). A proteção contra a corrosão é conseguida através da alteração do valor do potencial do metal protegido para um valor mais negativo. Materiais metálicos, em contato com um eletrólito, estão sujeitos à ação agressiva dos ânions orgânicos e inorgânicos. Esta interação pode resultar em ataques corrosivos ou degradações profundas localizadas, que podem levar à perda de desempenho ou uma falha de um componente (FERRARIS e outros, 2012).

O projeto do sistema de proteção catódica requer a definição da densidade e do potencial da corrente da proteção. Esses parâmetros devem atender a determinados critérios durante a implementação do sistema de proteção catódica. Ele também precisa fornecer uma uniforme distribuição da densidade de corrente na superfície da estrutura protegida (MUHAREMOVIC e outros, 2008).

As tubulações metálicas de distribuição de gás estão normalmente dispostas nos subsolo de grandes cidades. Com isso, estão sujeitas a interferências físicas, elétricas além da corrosão eletrolítica. A manutenção tem papel fundamental no processo

¹ Rodrigo Machado da Silva Soares; Universidade Federal Fluminense; rodrigomachado_engelet@hotmail.com

² Márcio Zamboti Fortes; Universidade Federal Fluminense; mzf@vm.uff.br

³ André Luiz Oliveira Silva; Universidade Federal Fluminense; aloesrj@hotmail.com

⁴ Mario César Motta de Freitas Souza; Universidade Federal Fluminense; mariomotta.eng@gmail.com

⁵ Pablo Fernando Santana Brito; Universidade Federal Fluminense; pabloobrito@hotmail.com

⁶ Vitor Hugo Ferreira; Universidade Federal Fluminense; vhferreira@id.uff.br

das empresas distribuidoras de gás e, se tratando da distribuição de um combustível, a preocupação com a integridade dos dutos deve ser prioridade dentro das rotinas de manutenção, pois o impacto de um acidente dentro de um ambiente urbano poderá ser um evento sem precedentes.

A proteção catódica é um pilar dentro do setor de manutenção e integridade de dutos. A rotina de inspeção dos elementos de proteção catódica segue uma periodicidade de acordo com a importância desses para o sistema. Diversas medições são coletadas pelo inspetor de campo, e, a partir delas, ações são tomadas após a análise do supervisor. Esta análise é feita respeitando critérios pré-estabelecidos na norma nacional ABNT NBR ISO 15589-1:2016 e internacional ISO 15589-1:2015.

O papel do retificador de proteção catódica é aplicar uma tensão contínua nos anodos de proteção, sendo este o elemento que doaré elétrons para o catodo do sistema, que neste caso é a tubulação de distribuição de gás, que ficará polarizada, e os níveis de corrosão serão diminuídos a valores irrisórios.

Dentro deste contexto, a Análise da Qualidade de Energia Elétrica(QEE) em retificadores de proteção catódica deverá ser uma preocupação a mais dentro das rotinas do setor de manutenção. Os efeitos dos elementos semicondutores que fazem parte deste equipamento podem causar distúrbios no sistema elétrico e consequente impacto na qualidade da tensão de alimentação fornecida pela concessionária..

Este estudo visa verificar os possíveis distúrbios causados pelo retificador de proteção catódica no sistema de distribuição elétrica local e a influência da QEE no perfeito funcionamento deste.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conhecimento acerca da corrosão eletroquímica mostra-se como um princípio básico para compreensão da proteção cató-

dica. O fenômeno da corrosão eletroquímica ocorre quando dois metais dissimilares tendo diferentes potenciais eletroquímicos estão em contato sob o mesmo ambiente corrosivo (CHEN e outros, 2016). A corrosão eletroquímica é um processo que ocorre de maneira espontânea. Para isso, quatro elementos são necessários para que um processo corrosivo se inicie: Anodo, Catodo, ligação metálica e um eletrólito onde estes elementos estarão inseridos. Esse processo se inicia quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, onde acontecem, simultaneamente, as reações anódicas e catódicas. A transferência dos elétrons da região anódica para a catódica é feita por meio de um condutor metálico, e uma difusão de ânions e cátions no eletrólito fecha este circuito elétrico. A intensidade deste processo pode ser avaliada pelo número de elétrons que migram do anodo para o catodo (MAINIER e LETA, 2001).

A proteção catódica em um duto imerso em um eletrólito ocorre através do fornecimento de uma corrente contínua para a área externa do tubo, suficientemente capaz de promover a redução do potencial tubo-eletrólito, reduzindo a taxa de corrosão a valores irrisórios, aumentando a vida útil do duto em questão. Este tipo de proteção é o mais utilizado no combate a corrosão de estruturas metálicas envolvidas em um eletrólito, e em geral, estão associadas a outros tipos de proteção anticorrosiva, principalmente no que se diz respeito aos revestimentos orgânicos (DUTRA e NUNES, 2011).

A proteção catódica pode ocorrer de duas maneiras: a primeira através de um sistema galvânico com anodos de sacrifício ou por meio de uma tensão externa.

Para garantir que a proteção catódica esteja sendo aplicada de maneira correta em todas as áreas dos dutos envolvidos, deve ser construído ao longo deste, pontos de monitoração de potencial respeitando principalmente dois critérios:

a) Taxa de corrosão do metal deverá ser inferior a 0,01mm por ano. Não impactando diretamente em perda de material.

b) Potencial metal-eletrólito (E) deverá ser menor ou igual ao potencial de proteção (E_p) e que por sua vez, deverá ser maior ou igual que o potencial crítico (E_c). Este último se deve ao fenômeno da fragilização por hidrogênio provocado por potenciais muito baixos, tendo como ônus o descolamento do revestimento protetor do metal e/ou um alto pH na superfície do metal (DUTRA e NUNES, 2011).

O valor do potencial de proteção tubo-solo utilizado na proteção dos gasodutos, respeita as normas nacionais e internacionais anteriormente mencionadas. É adotado como valor máximo de proteção, o potencial de -0,85V com relação ao eletrodo de referência de Cu/CuSO₄, ou seja, $E_p = -0,85V$. Já o potencial mínimo, de acordo com a norma, não poderá ser inferior a -1,2V, ou seja, $E_c = -1,2V$. Valores entre o potencial de proteção e o potencial crítico são considerados ideais para a proteção das tubulações de gás enterradas (DUTRA e NUNES, 2011).

Para garantir tal controle, existem alguns equipamentos que são instalados ao longo do duto, em locais estrategicamente

posicionados, para o controle e combate a corrosão. Estes equipamentos são inspecionados dentro de uma rotina, de acordo com a criticidade desses para o sistema. Então, um grande número de informações são coletadas mensalmente e devem ser analisadas por um especialista a fim de detectar possíveis problemas, seja por potenciais fora dos critérios de proteção ou pelo mau funcionamento de algum equipamento do sistema.

Existem dois tipos de equipamentos amplamente utilizados para o controle e combate a corrosão: retificador e a drenagem, sendo o primeiro, objeto deste estudo.

No sistema de proteção catódica por corrente impressa, uma força eletromotriz é gerada, no caso, pelo retificador utilizando um conjunto dispersor de corrente no eletrólito, constituído de anodos inertes. O objetivo do equipamento é gerar uma corrente contínua, através da ponte retificadora, fornecendo uma tensão e corrente nominais de 100Vcc e 30Acc, com 25 possibilidades de ajuste da tensão de saída através do ajuste do TAP grosso (G) e fino (F). O retificador é alimentado por uma rede de baixa tensão em 127 V ou 220 V. Segue na Figura 1 a representação de um circuito típico de um retificador de proteção catódica.

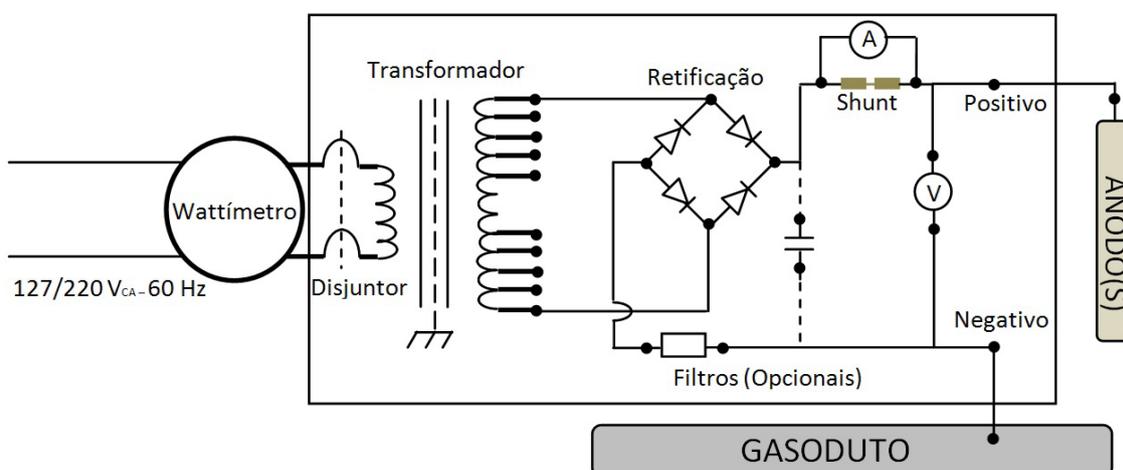


Figura 1 – Esquema típico de um sistema de proteção catódica (POMILIO, 2016)

Na Figura 2, são apresentadas as fotos do equipamento retificador, objeto deste

estudo, instalado em via pública:



Figura 2 – Retificador de proteção catódica

A inspeção em campo desses equipamentos é visual e analisam-se o estado de conservação do equipamento, TAP, leitura do horímetro, e medições elétricas (tensão e corrente de entrada e saída), com auxílio

de um *datalogger*.

Para melhor compreensão do equipamento, apresenta-se na Figura 3 o diagrama de blocos da arquitetura do sistema:

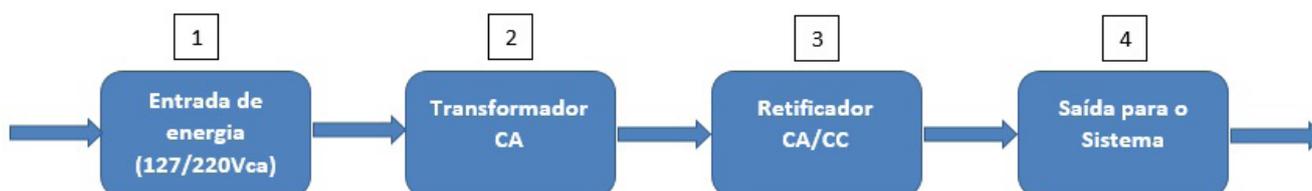


Figura 3 – Diagrama de representação do sistema

O bloco número 1, representa o suprimento do sistema que é disponibilizado pela concessionária de distribuição de energia elétrica, o bloco 2, trata-se de um transformador CA com possibilidade de 25 combinações de relações de transformações, o bloco 3 representa o módulo de retificação composto por uma ponte de onda completa e o 4º bloco trata-se da saída para o suprimento da carga (sistema).

O sistema de retificação conta com quatro diodos em ponte. O diodo utilizado nesta configuração é o de modelo SKN71/16, cuja tensão de pico inverso é de no máximo 1600V.

Atualmente os estudos de QEE tem dado enfoque na diminuição dos “degradantes”

dos sistemas de distribuição de energia (harmônicos e inter-harmônicos), com o objetivo de melhorar o fornecimento, mitigando os impactos para os consumidores. Os harmônicos são componentes senoidais de frequência múltipla da fundamental, já os inter-harmônicos são componentes senoidais que não são múltiplos da fundamental. Geralmente, as distorções harmônicas e inter-harmônicas são causadas por cargas não lineares conectadas ao sistema, tais como retificadores de tensão, fornos a arco e inversores de frequência. Para a proteção catódica, o mesmo possui um retificador (equipamento de eletrônica de potência) associado ao seu sistema. A Agência Nacional e Energia Elétrica (ANE-

EL) elaborou os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), sendo que o módulo 8 edição 1, trata dos critérios relacionados à QEE, estabelecendo limiares de

Distorções Harmônicas Individuais (DHI) e Distorções Harmônicas Totais (DHT), para todos os níveis de tensão e suas componentes, de acordo com as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Níveis de referência para distorções harmônicas individuais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental) (ANEEL, 2009)

Ordem Harmônica		Distorção Harmônica Individual de Tensão (%)			
		$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	> 25	1,5	1	1	0,5
Ímpares múltiplas de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	> 21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	> 12	1	0,5	0,5	0,5

Tabela 2 - Níveis de referência para distorções harmônicas totais de tensão (em porcentagem da tensão fundamental) (ANEEL, 2009)

Tensão Nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DHT) (%)
$V_n \leq 1 \text{ kV}$	10
$1 \text{ kV} < V_n \leq 13,8 \text{ kV}$	8
$13,8 \text{ kV} < V_n \leq 69 \text{ kV}$	6
$69 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$	3

Neste estudo as referências serão para tensões inferiores a 1kV, pois a alimen-

tação do equipamento está em torno de 220V.

Em se tratando das correntes a norma IEC 61000-3-2:2005, trata os valores de correntes de curto-circuito em relação à corrente de carga, sabendo que os limites aceitáveis dependem diretamente dos ní-

veis de corrente de falta, pois as mesmas geram sempre maiores distorções e devem ter seus valores proporcionalizados, logo para cada componente harmônica, temos os limiares da Tabela 3.

Tabela 3 – Limite de distorção da corrente para sistemas de distribuição (120V a 69kV) (ANEEL, 2009)

Máxima Corrente Harmônica em % de carga						
Harmônicas Impares (I_0 – Valor da componente fundamental)						
$\frac{I_{CC}}{I_0}$	< 11	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 < n$	TDD (%)
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20<50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50<100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100<1000	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Para realização dos ensaios foi utilizado um analisador de QEE e um *notebook*. Foram realizados os seguintes procedimentos ilustrados nos blocos da Figura 4.

- a) Conexão do equipamento na entrada da alimentação da rede elétrica no ponto de medição 1 por aproximadamente 3 minutos;
- b) Repetição das medições para as relações de TAP do transformador: G1/F1; G1/F5; G2/F5; G3/F5; G4/F5 e G5/F5 (nomenclatura utilizada no equipamento para

diferentes ajustes fino (pequena alteração) e grosso (grande alteração)).

- c) Atualização da base de dados a cada medição executada;
- d) Conexão do equipamento na entrada da alimentação da rede elétrica no ponto de medição 2 por aproximadamente 3 minutos;
- e) Repetição das medições para as relações de TAP do transformador: G1/F1; G1/F5; G2/F5; G3/F5; G4/F5 e G5/F5.
- f) Atualização da base de dados a cada medição executada;



Figura 4 – Representações dos pontos de medição

O equipamento utilizado neste trabalho foi o analisador de energia RE6081 da empresa Embrasul ilustrado na Figura 5. Este equipamento registra grandezas elétricas em tempo real e faz medições e registros simultâneos de tensão, corrente, potências e DHT de tensão. O instrumento possui entradas para tensão em três fases e

neutro e de corrente através de sensores de corrente de até 1000A. A partir de um sistema de aquisição de 16 bits podem ser feitas 133 amostras por ciclo de forma simultânea nos oito canais quanto à medição das grandezas RMS (MUHAREMOVIC e outros, 2008).



Figura 5 – Analisador de Energia Embrasul. Modelo: RE6081

A conexão ilustrada na Figura 6 foi a topologia adotada para a aquisição dos dados deste estudo. Ao fazer medições ou registros bifásicos foram utilizadas as en-

tradas da fase A e B para as conexões de tensões e corrente. O neutro serve apenas como referência para fins de medição (MUHAREMOVIC e outros, 2008).

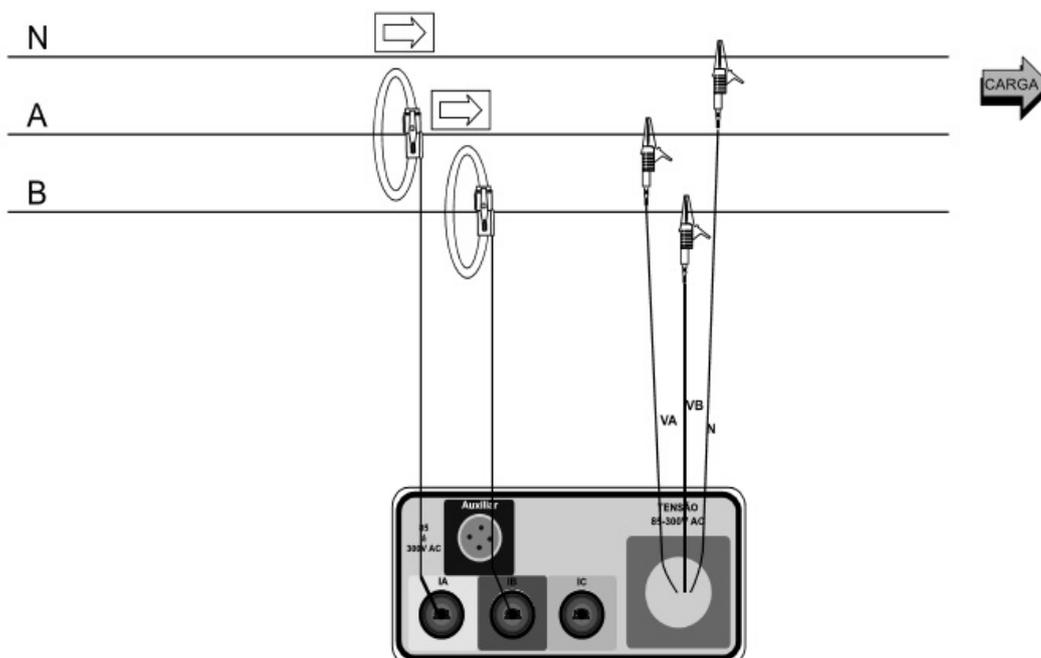


Figura 6 – Diagrama de ligação para registro bifásico (EMBRASUL, 2018)

Para melhor visualização a Figura 7 ilustra as conexões realizadas em campo no ponto de medição 1 de acordo com o diagrama apresentado.



Figura 7 – Conexões realizadas em campo

RESULTADOS

O equipamento analisado utiliza alimentação bifásica, sendo que, o neutro fornecido pela concessionária é isolado e só utilizado para referências em medições. Como o analisador de energia necessita do neutro para obter os dados monofásicos, fez-se a utilização desta referência de neutro.

Este item será dividido em duas partes: a primeira será dedicada ao ponto de medição 1 e a segunda ao ponto de medição 2.

Ponto de medição 1:

A medição no ponto 1 foi realizada na entrada da concessionária de energia, exemplificada na Figura 3. A Tabela 4, expressa os resultados obtidos nesta análise cujas porcentagens são relacionadas com a componente fundamental..

Observa-se na Tabela 4, que quando utilizado o menor TAP, maior a distorção na forma de onda da corrente nas fases A e B, ou seja, quanto menor a potência disponibilizada para a carga, maior a distorção harmônica. A Figura 8, apresenta a distorção na forma de onda referente às conexões do TAP grosso (G1) e fino (F1), simultaneamente, e na Figura 9, os percentuais por ordem harmônica ímpar na corrente.

Conforme a Figura 8, observa-se semelhança entre as formas de onda da fase A e B para o TAP G1/F1, contudo de acordo com Figura 10, verifica-se que esse comportamento permanece para os demais TAP's, evidenciando comportamento semelhante entre as mesmas.

Na Figura 11, verifica-se o percentual das distorções harmônicas da corrente da fase A. O percentual das distorções da fase B também se assemelha a esta.

Tabela 4 – Resultados no ponto de medição 1

TAP		ORDEM HARMÔNICA					
		1	3	5	7	9	11
G1/F1	I _A (%)	100	65,82	25,95	2,22	4,43	1,9
	I _B (%)	100	65,25	25,89	1,77	4,61	1,77
	V _A (%)	100	0	1,19	0,66	0	0
	V _B (%)	100	0	1,13	0,83	0	0
G1/F5	I _A (%)	100	55,11	21,51	2,42	4,3	1,61
	I _B (%)	100	52,62	20,64	2,33	4,07	1,74
	V _A (%)	100	0	0,96	0,66	0	0
	V _B (%)	100	0	0,98	0,88	0	0
G2/F5	I _A (%)	100	25,13	9,8	2,39	2,64	1,26
	I _B (%)	100	21,88	8,41	2,35	2,6	1,24
	V _A (%)	100	0	1,15	0	0	0
	V _B (%)	100	0	1,41	1,05	0	0
G3/F5	I _A (%)	100	11,49	4,39	1,87	1,74	0,9
	I _B (%)	100	9,91	3,67	1,87	1,69	0,82
	V _A (%)	100	0	1,17	0	0	0
	V _B (%)	100	0	1,18	0,78	0	0
G4/F5	I _A (%)	100	6,28	2,25	1,6	1,32	0
	I _B (%)	100	5,49	1,83	1,63	1,27	0
	V _A (%)	100	0	1,15	0	0	0
	V _B (%)	100	0	1,19	0,76	0	0
G5/F5	I _A (%)	100	3,98	1,19	1,6	1,06	0
	I _B (%)	100	3,58	0,98	1,63	1,06	0
	V _A (%)	100	0	0,93	0	0	0
	V _B (%)	100	0	1,01	0,81	0	0

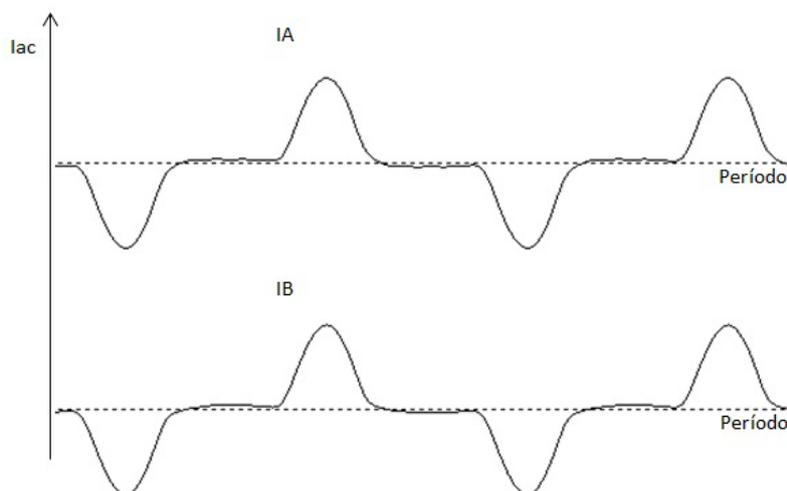


Figura 8 – Forma de onda da corrente no TAP G1/F1 no ponto de medição 1

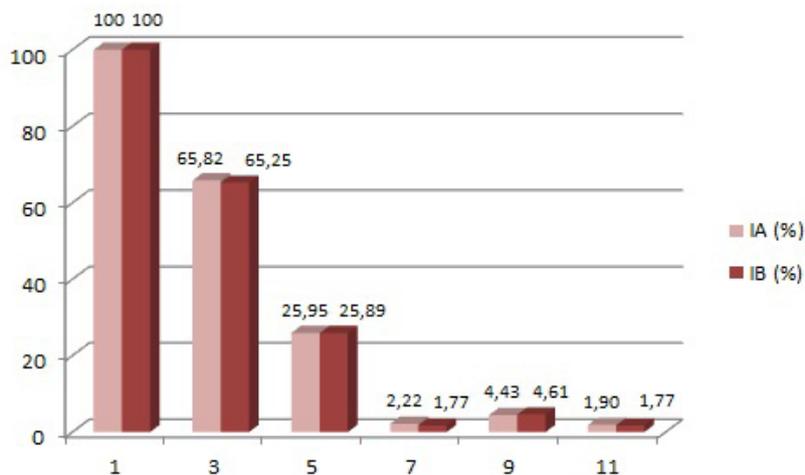


Figura 9 - Percentual por ordem harmônica ímpar

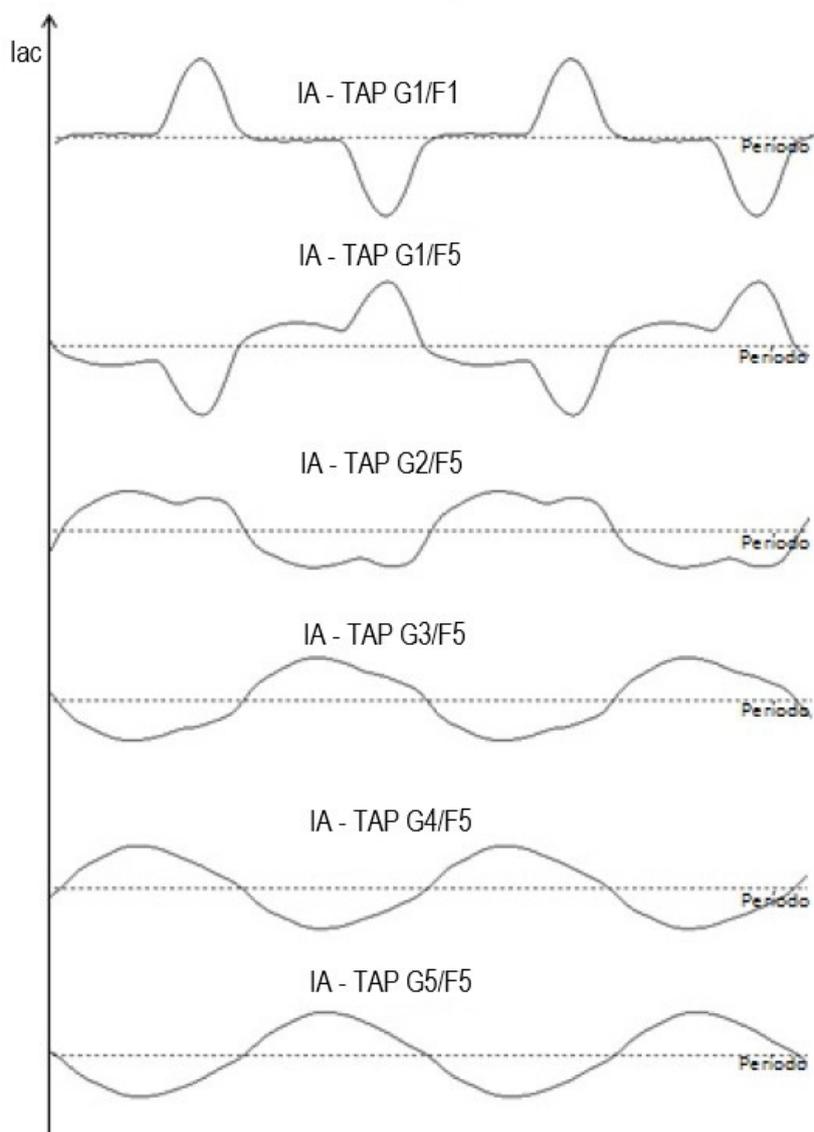


Figura 10 – Forma de onda da corrente da fase A

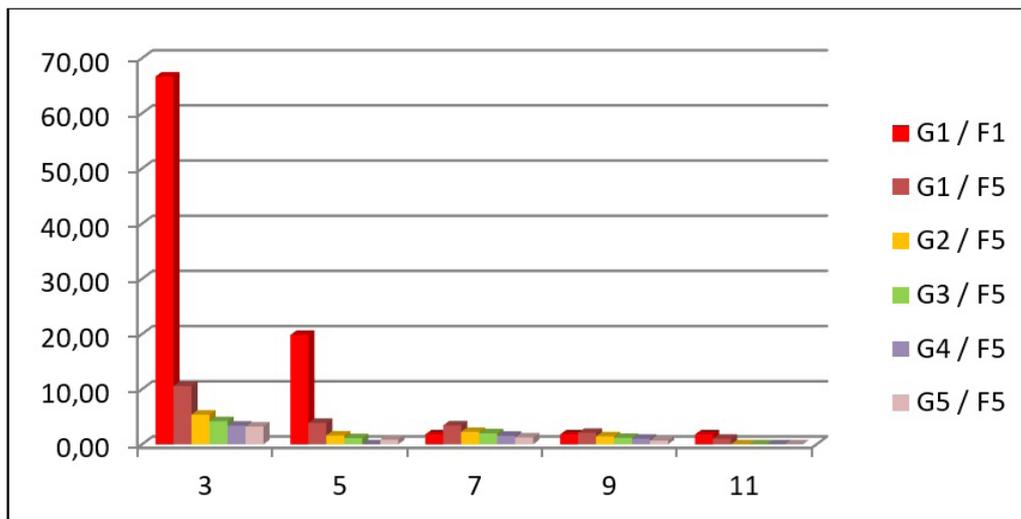


Figura 11 – Percentual por ordem harmônica ímpar da fase A

Ponto de medição 2:

A medição no ponto 2 foi realizada entre o transformador e o retificador, exemplificado na Figura 3. Segue na Tabela 5 os resultados obtidos nesta análise.

Tabela 5 – Resultados obtidos no ponto de medição 2

TAP		ORDEM HARMÔNICA					
		1	3	5	7	9	11
G1/F1	I _A (%)	100	46,53	9,9	3,96	0,99	0,99
	I _B (%)	100	66,67	19,82	1,8	1,8	1,8
	V _A (%)	100	7,06	7,65	2,94	1,76	0
	V _B (%)	100	10,38	10,38	5,66	1,89	0,94
G1/F5	I _A (%)	100	9,23	3,04	3,35	2,09	1,08
	I _B (%)	100	10,57	3,88	3,44	2,1	1,02
	V _A (%)	100	0	1,86	0	0	0
	V _B (%)	100	1,73	1,59	1,73	0	0
G2/F5	I _A (%)	100	4,9	1,23	2,24	1,46	0,83
	I _B (%)	100	5,37	1,62	2,26	1,45	0
	V _A (%)	100	0	1,45	0	0	0
	V _B (%)	100	1,59	1,44	0	0	0
G3/F5	I _A (%)	100	4	0	1,98	1,19	0
	I _B (%)	100	4,21	1,12	2	1,18	0
	V _A (%)	100	0	1,4	0,65	0	0
	V _B (%)	100	1,48	1,58	0	0	0
G4/F5	I _A (%)	100	3,17	0	1,57	1,01	0
	I _B (%)	100	3,39	0	1,56	1,01	0
	V _A (%)	100	0	1,54	0	0	0
	V _B (%)	100	0	1,23	1,74	0	0
G5/F5	I _A (%)	100	2,76	0,87	1,29	0,72	0
	I _B (%)	100	3,24	0,87	1,27	0,71	0
	V _A (%)	100	0,85	1,93	0	0	0
	V _B (%)	100	1,26	1,7	0	0	0

Observa-se na Tabela 5, que quando utilizado o menor TAP, maior a distorção na forma de onda da corrente nas fases A e B, ou seja, quanto menor a potência disponibilizada para a carga, maior a distorção harmônica. Nessa medição verificou-se

também a distorção na forma de onda da tensão em ambas as fases no TAP G1/F1. Nas Figuras 12 e 13, temos a distorção na forma de onda e os percentuais harmônicos ímpares da corrente.

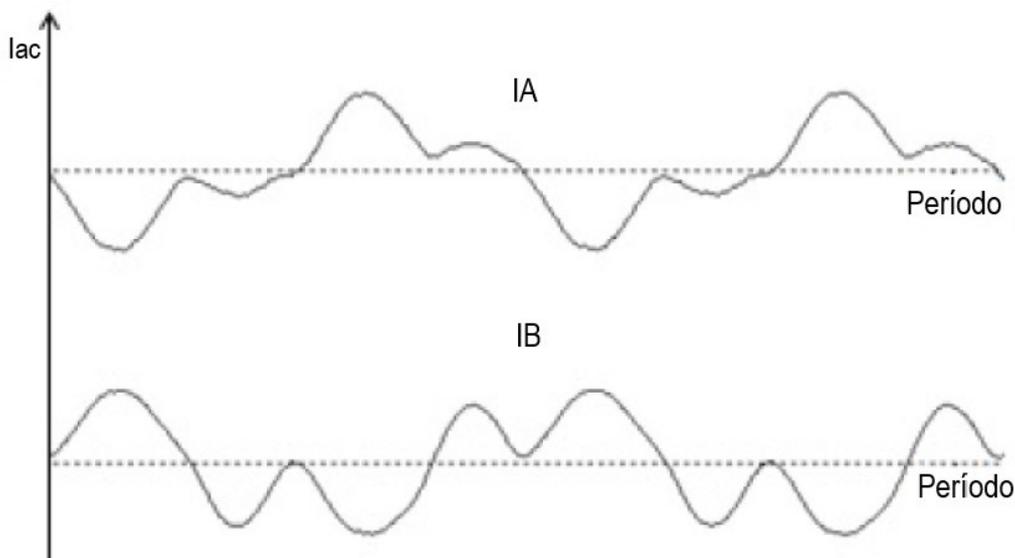


Figura 12 – Corrente no TAP G1/F1 no ponto de medição 2

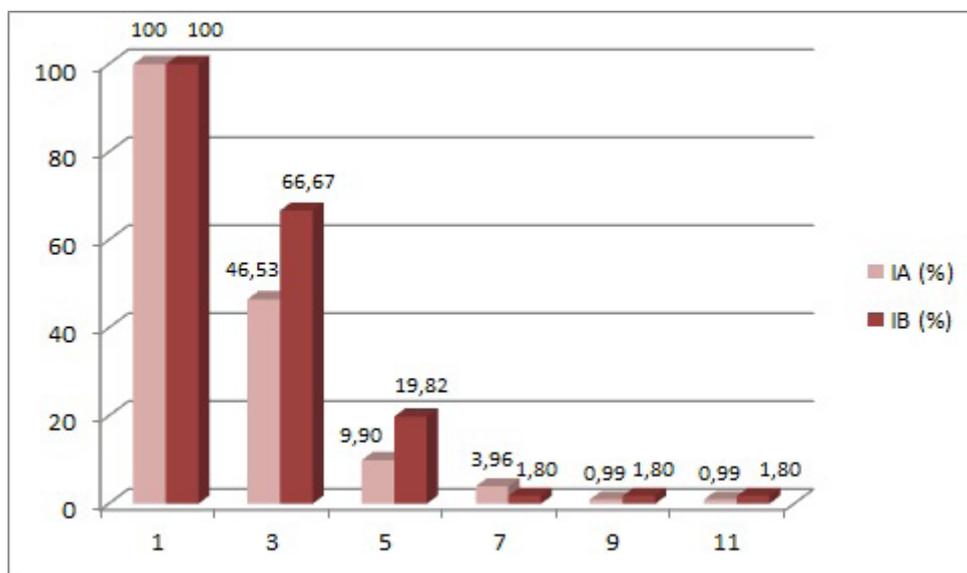


Figura 13 - Percentual harmônico ímpar das fases A e B

Na Figura 14, as formas de onda da corrente da fase A continua mantendo o mesmo padrão em referência à fase B, para as

medições realizadas no ponto de medição 2.

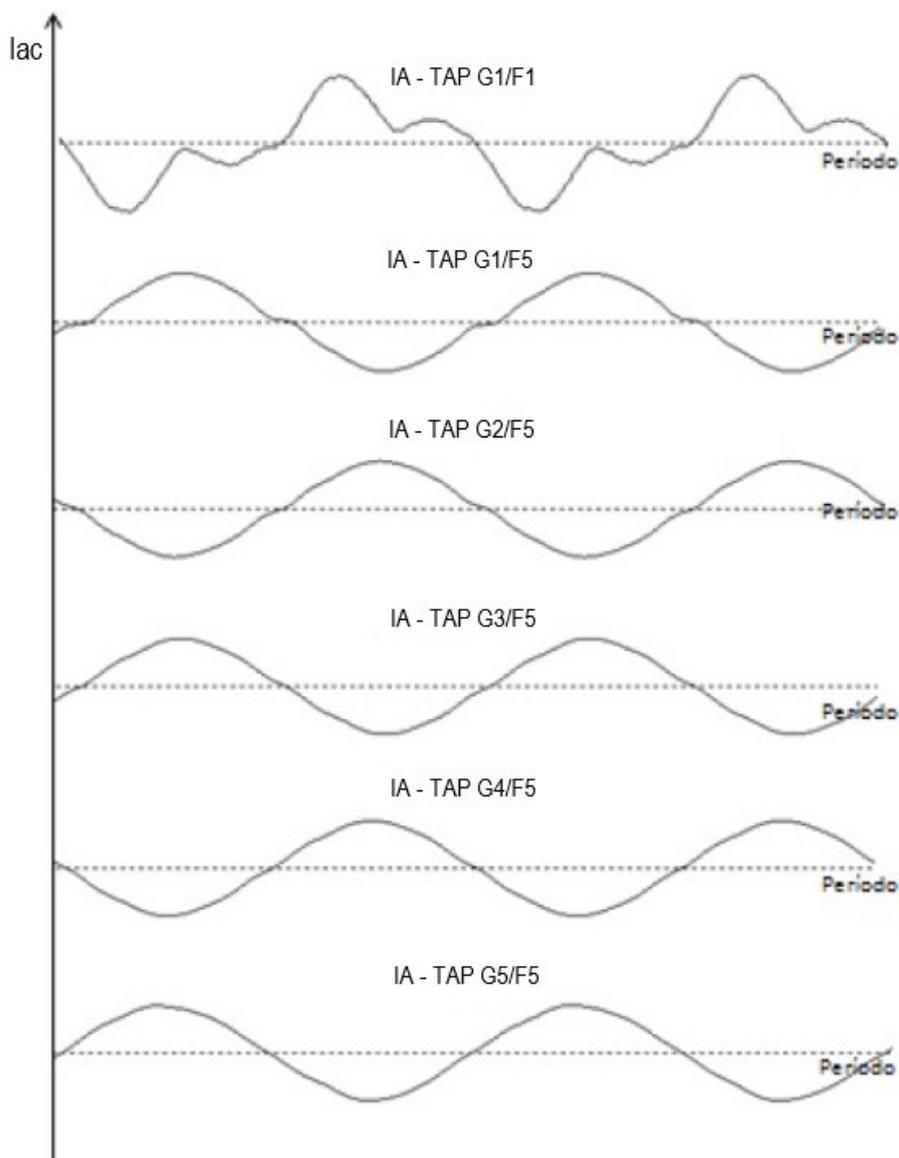


Figura 14 – Forma de onda da corrente da fase A

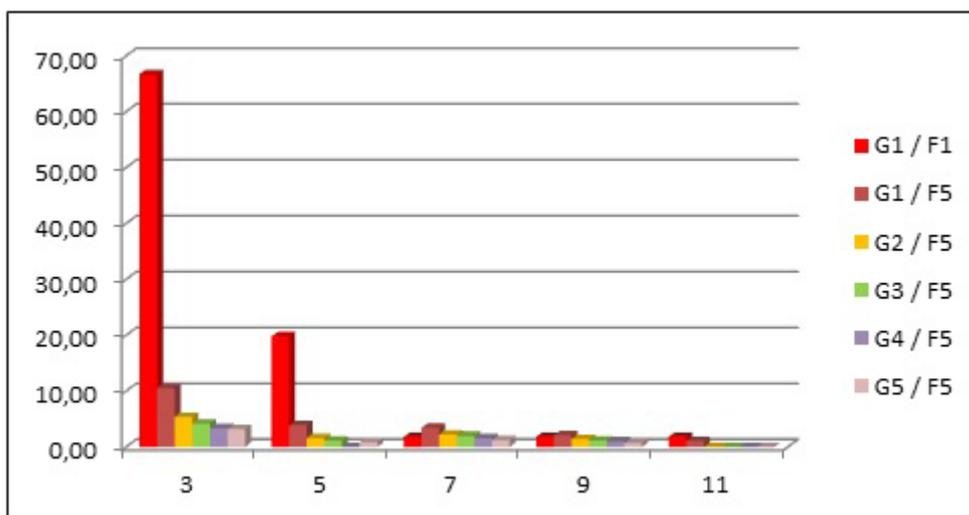


Figura 15 – Percentual harmônico ímpar fase B

Na Figura 16 (pior caso encontrado), da tensão, para as fases A e B no TAP G1/F1, observou-se distorção na forma de onda F1.

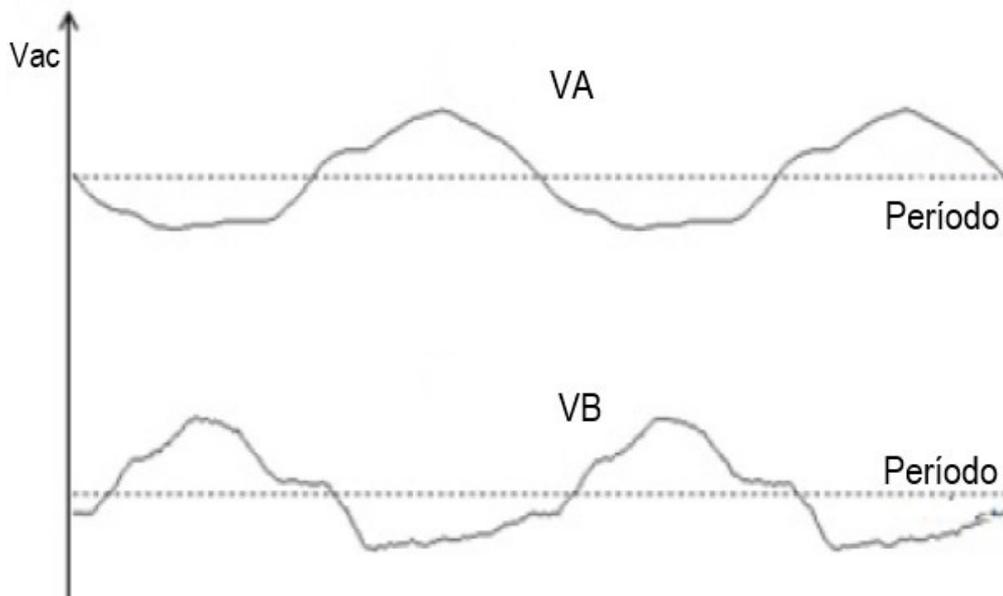


Figura 16 – Tensões no TAP G1/F1, para o ponto de medição 2

CONCLUSÃO

Conforme abordado, o retificador é um gerador natural de harmônicos por possuir elementos de eletrônica de potência. Atualmente, as distribuidoras de energia elétrica têm voltado a sua atenção para a QEE fornecida, desenvolvendo estratégias de melhoria no seu fornecimento e para minimizar os impactos gerados pelos harmônicos. Uma vez que a presença desses componentes na rede tem trazido significativos prejuízos ao sistema como desligamentos intempestivos de sistemas eletrônicos e de telecomunicações conectados próximos, o que pode ser visto neste estudo.

Foi possível observar a presença de componentes harmônicos sempre mais evidentes na 3ª ordem, na faixa de 65% de distorção harmônica para as correntes das fases A e B sempre para níveis de tensões reduzidos. Considerando que quanto

menor a potência disponibilizada para carga, maior a distorção na forma de onda da corrente. Outro fato relevante observado é o comportamento das tensões e correntes nos dois pontos de medição, apesar da diferença das correntes do ponto 1 para o ponto 2, as tensões sofreram pequenas influências. Essas influências são causadas pela característica da ponte retificadora utilizada no sistema. Para a tensão V_B no ponto de medição 2, a DHT da Tensão superou os 10% no TAP G1/F1, em desacordo com a Tabela 3 do PRODIST, módulo 8.

Este estudo abre perspectiva para novas análises utilizando pontes retificadoras de modelos diferentes, a fim de verificar se o modelo atual de ponte com diodo SKN é o padrão representativo de melhor eficiência para a aplicação em proteção catódica.

ABSTRACT: Cathodic protection is a technique used to preserve the metal structures immersed in an electrolyte, whose function is to minimize corrosion to insignificant values. For the protection of large structures it is necessary to use an equipment with

power electronics (rectifier) named cathodic protection by printed current system. The purpose of the rectifier is to apply direct current in anodes that sacrifice in favor of the metal structure, polarizing it and protecting it against corrosion. These equipment are supplied by the electricity distribution network and can generate undesirable harmonic disturbances in these systems. The purpose of this work is to evaluate the impacts caused by the cathodic protection rectifiers by imposed current in the energy distribution system, relating to the concepts of electrical energy quality. To validate this work, a case study was carried out using a Power quality analyzer.

KEYWORDS: Power Quality; Cathodic Protection; Rectifier; Maintenance.

REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8**, 2009.

CHEN, Y. e outros. **Comprehensive Physical and Chemical Characterization of the Galvanic Corrosion Induced Failures**. In: 2016 IEEE 23rd International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA), 2016. doi: 10.1109/IPFA.2016.7564312.

DUTRA, A.C.; NUNES, L.P. **Proteção Catódica – Técnica de Combate à corrosão**. 5ª Edição, 2011.

EMBRASUL. **Analizador de Energia**. Disponível em: <<http://www.embrasul.com.br/manuais/RE6081hr.pdf>>. Acessado em 10-dez- 2016.

FERRARIS, F.; PARVIS, M.; ANGELINI, E; GRASSINI, S. **Measuring system for enhanced cathodic corrosion protection**. In: 2012 International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, p.1583–1587, 2012. doi: 10.1109/I2MTC.2012.6229305.

IEC - INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, **IEC-61000-3-2, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)**. 2005.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 15589-1:2015 Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Cathodic protection of pipe-line systems -- Part 1: On-land pipelines**. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/home/search.htm?qt=15589&sort=rel&type=simple&published=on>. Acessado em 12-dez-2016.

LAZZARI, L.; PEDEFERRI, P. **Cathodic Protection**. 1a edição, Polipress Milano, Revista Lumiere, 2006.

MAINIER, F.B.; LETA, F.R. **O ensino de corrosão e de técnicas anticorrosivas compatíveis com o meio ambiente**. In: COBENGE 2011, 2011. Disponível em: <http://www.pp.ufu.br/Cobenge2001/trabalhos/EMA002.pdf>. Acessado em 12-abr-2018.

MUHAREMOVIC, A.; ZILDZO, H.; LETIC, E. **Modelling of protective potential distribution in a cathodic protection system using a coupled BEM/FEM method**. WIT Transactions on Modelling and Simulation, v.47, p.105-113, 2008.

POMILIO, J.A. **Pré-reguladores de Fator de Potência**. 2016. Disponível em: <http://www.fee.unicamp.br/dse/antenor/pfp>, 2016. Acessado em 12-abr-2018.

Recebido em: 21/10/2018

Aceito em: 07/12/2018

