

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL

RESOLUÇÃO N.º 513, DE 16 DE SETEMBRO DE 2002.

Estabelece os procedimentos para determinação de adicional financeiro devido a sobrecargas que ocasionem perda adicional de vida útil em instalações de transmissão do sistema elétrico.

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no parágrafo único do art. 9.º da Lei n.º 9.648, de 27 de maio de 1998, nos incisos IV e V, art. 7.º, do Decreto n.º 2.655, de 2 de julho de 1998, o que consta do Processo n.º 48500.001701/00-25, e considerando:

a necessidade de estabelecer procedimentos para a aplicação de adicional financeiro devido a sobrecargas em equipamentos das concessionárias de transmissão, de que trata o § 1.º do art. 12 da Resolução ANEEL n.º 247, de 13 de agosto de 1999;

que a norma ABNT-NBR 5.416, de julho de 1997, estabelece critérios e condições de carregamento de transformadores e autotransformadores de potência; e

as contribuições recebidas dos diversos agentes e setores da sociedade por meio da Audiência Pública n.º 010/2000, realizada no período de 18 dezembro de 2000 a 15 de março de 2001, resolve:

Art. 1.º Estabelecer os procedimentos para o cálculo do adicional financeiro ao duodécimo da receita anual permitida das concessionárias de transmissão, por sobrecargas que ocasionem perda adicional de vida útil em equipamentos das mesmas, integrantes ou não da Rede Básica, bem como determinar os responsáveis pelo pagamento desse adicional.

§ 1.º Os transformadores e autotransformadores de potência, doravante denominados simplesmente transformadores, poderão ser compensados por adicional financeiro quando operarem acima da potência nominal, correspondente ao último estágio do sistema de resfriamento, de acordo com as condições e procedimentos desta Resolução e atendendo a premissa básica de que se trata de condição excepcional de operação que não altera os critérios praticados para expansão do sistema elétrico.

§ 2.º As chaves seccionadoras, os disjuntores e transformadores de corrente, as bobinas de bloqueio, os equipamentos para compensação série e os barramentos e conexões, vinculados a linhas de transmissão ou aos transformadores, não serão compensados por adicionais financeiros em decorrência de operação que ultrapasse a respectiva capacidade nominal.

§ 3.º As linhas de transmissão não serão compensadas por adicional financeiro em decorrência de sobrecarga, por estarem as mesmas impedidas de operar acima do limite de carregamento físico estabelecido pelo projeto, o que corresponde à distância mínima de segurança do condutor ao solo.

Art. 2.º Considerar-se-á que existe perda adicional de vida útil em transformador, devido à sobrecarga, no período em que a temperatura do ponto mais quente do seu enrolamento for superior

àquela que acarreta perda de vida útil equivalente a uma expectativa referencial de quarenta anos, tendo como base a “Teoria de Arrhenius”.

(Fl. 2 da Resolução nº , de de de 2002)

Art. 3º Não será devido adicional financeiro por perda adicional de vida útil em transformador nas seguintes condições:

I - quando não ocorrer ultrapassagem da potência nominal correspondente ao último estágio do sistema de resfriamento, independentemente da temperatura atingida nos enrolamentos ou no óleo; e

II - quando a sobrecarga for originada de falha em equipamento da própria concessionária de transmissão, devido a ação ou omissão da mesma, ou decorrente de atraso de obras de sua responsabilidade.

Art. 4º Quando for caracterizada condição de carregamento acima da potência nominal em transformadores integrantes da Rede Básica, ressalvado o disposto no inciso II do art.3º, as concessionárias de transmissão poderão requerer ao Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS adicional financeiro, em base mensal, calculado conforme a metodologia constante do Anexo desta Resolução.

§ 1º O requerimento deverá ser formalizado quando o Fator de Perda de Vida Útil “ $V_S$ ”, calculado para o mês completo da(s) ocorrência(s) de sobrecarga, resultar maior que a unidade.

§ 2º O requerimento deverá ser acompanhado de relatório, com o detalhamento do cálculo do Fator de Carregamento “S” e do adicional financeiro correspondente, utilizando os dados e parâmetros indicados, respectivamente, nos §§ 3º e 5º deste artigo, para análise e aprovação.

§ 3º Os dados necessários para o cálculo do carregamento são as correntes de carga do transformador, coletadas em intervalos de tempo regulares de quinze minutos, e as temperaturas ambiente em intervalos de, no máximo, uma hora.

§ 4º Quando não se dispuser dos registros de temperatura ambiente no local de instalação do transformador, poderão ser utilizados os registros de temperatura média correspondente ao mês em análise, obtidos da série de dados mais representativa de estação do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e do Abastecimento, existente em local mais próximo do transformador em questão.

§ 5º Para o cálculo do Fator de Carregamento “S” deverão ser utilizados os seguintes parâmetros:

- I- classe térmica de cinquenta e cinco ou sessenta e cinco graus Celsius;
- II- corrente nominal correspondente ao último estágio do sistema de resfriamento;
- III- designação do sistema de resfriamento; e
- IV- características resultantes dos ensaios de elevação de temperatura, conforme a seguir:

a) para os transformadores fabricados a partir da data da publicação desta Resolução, as concessionárias de transmissão deverão utilizar as características resultantes dos ensaios realizados pelo fabricante ou empresa especializada; e

(Fl.3 da Resolução nº , de de de 2002)

b) para os demais transformadores deverão ser utilizadas, preferencialmente, as características citadas na alínea anterior, ou na inexistência destas, aquelas constantes das tabelas A .1 e A .2 do Anexo “A” da norma ABNT-NBR 5.416, de julho de 1997.

§ 6º Aprovado o requerimento, o adicional financeiro será incluído na próxima Apuração Mensal de Serviços e Encargos, de acordo com os Procedimentos de Rede.

Art. 5º O pagamento do adicional financeiro devido a sobrecargas que ocasionem perda adicional de vida útil nos transformadores integrantes da Rede Básica não poderá ser repassado aos consumidores, devendo ser considerado como encargo de responsabilidade dos agentes, e será atribuído:

I- ao(s) usuário(s) identificado(s), quando a condição de operação dos transformadores em sobrecarga for originada por demandas acima dos valores contratados, em conformidade com os Procedimentos de Rede;

II- ao agente quando a sobrecarga for decorrente de ação ou omissão do mesmo; e

III- a todos os usuários da Rede Básica, na proporção direta do uso contratado ao sistema de transmissão, quando a condição de operação em sobrecarga não for atribuível a agente do setor.

Art. 6º As concessionárias de transmissão proprietárias de transformadores não integrantes da Rede Básica poderão requerer adicional financeiro aos usuários conectados aos equipamentos em sobrecarga, conforme as condições e os critérios estabelecidos no art.4º, devendo o requerimento ser encaminhado ao(s) usuário(s) responsável(eis) pela sobrecarga para os procedimentos de análise e liquidação do referido adicional.

§ 1º Os critérios e os procedimentos de análise e liquidação a que alude o “caput” deverão ser estabelecidos em termo aditivo aos Contratos de Conexão ao Sistema de Transmissão.

§ 2º O pagamento do adicional financeiro não poderá ser repassado aos consumidores, devendo ser considerado como encargo de responsabilidade dos usuários, sendo o rateio entre os mesmos realizado conforme a proporção de uso dos transformadores acima dos valores da demanda contratada.

Art. 7º Os dados de carregamento dos transformadores serão disponibilizados ao usuário em tempo real, quando solicitado pelo mesmo, que arcará com o ônus pela implementação do sistema necessário.

Art. 8º A aprovação do requerimento de adicional financeiro e o respectivo pagamento somente serão efetivados se obedecidas as seguintes condições:

I - para os transformadores integrantes da Rede Básica: desde que as concessionárias de transmissão tenham declarado antecipadamente ao ONS os parâmetros de cada transformador,

necessários ao cálculo da sobrecarga, e eventuais fatores limitantes e restrições operativas relevantes que possam ser consideradas para estabelecer uma condição operativa segura; e

(Fl.4 da Resolução nº , de de de 2002)

II - para os transformadores não integrantes da Rede Básica: desde que as partes envolvidas tenham celebrado o termo aditivo aos Contratos de Conexão ao Sistema de Transmissão, contendo as informações indicadas no inciso I deste artigo, bem como os procedimentos para análise e liquidação do adicional financeiro.

Art. 9º O ONS deverá adequar as regras integrantes dos correspondentes módulos dos Procedimentos de Rede com o disposto nesta Resolução, no prazo de até 30 (trinta) dias, a contar da data de publicação da mesma.

Art. 10. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ MÁRIO MIRANDA ABDO

Publicado no D.O. de 17.09.2002, seção 1, p. 47, v. 139, n. 180.

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 17.09.2002.

## ANEXO À RESOLUÇÃO ANEEL Nº 513, DE 16 DE SETEMBRO DE 2002.

### 1. Geral

Este Anexo apresenta os critérios básicos para o cálculo do Fator de Carregamento “S” necessário ao estabelecimento de adicional financeiro devido a sobrecargas que ocasionem perda adicional de vida útil e aumento do risco de falha em transformadores.

### 2. Fator de Carregamento “S”

Este fator é suportado pelo modelo simplificado de reação química baseado na teoria desenvolvida por Arrhenius, conforme disposto na norma ABNT - NBR 5.416, de 1997. O fator “S” resulta da média ponderada do produto dos fatores “Vs” (perda de vida útil do transformador) e “Vf” (aumento do risco de falha) pelos intervalos de tempo em que o ciclo de carga de interesse foi estratificado, dentro do mês da ocorrência de sobrecarga.

Isto é:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n V_{S_i} \cdot V_{f_i} \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad [pu] \quad (E1)$$

onde:

S: fator de carregamento;

V<sub>S</sub>: fator multiplicador associado à perda de vida útil, em cada um dos intervalos de tempo Δt<sub>i</sub> no qual o período do ciclo de carga foi estratificado;

V<sub>f</sub>: fator multiplicador associado ao risco adicional de falha, em cada um dos intervalos de tempo Δt<sub>i</sub> no qual o período do ciclo de carga foi estratificado;

Δt<sub>i</sub>: intervalo de tempo, de 15 minutos, no qual o período do ciclo de carga foi estratificado; e

n: número de intervalos de tempo Δt<sub>i</sub> no período de um mês em que houve ocorrência de carregamento do transformador acima da sua potência nominal.

## 2.1 Fator Multiplicador “Vs”

O fator multiplicador “Vs” é determinado, em um intervalo do ciclo de carga, pela relação entre a perda de vida útil da isolação do transformador na condição de carga atual e a perda de vida útil normal para uma expectativa de vida de 40 anos. As perdas de vida são calculadas conforme a “teoria de Arrhenius”. Este fator, com característica exponencial, é dependente da temperatura absoluta (Kelvin) do ponto mais quente do enrolamento e das constantes A e B associadas à expectativa de vida da isolação de celulose.

Isto é:

- Perda de Vida Útil Normal (Expectativa de Vida de 40 anos):

(Fl. 2 do Anexo da Resolução ANEEL nº , de de de 2002)

$$PVn\% = \frac{\Delta t_i}{24 \cdot 365 \cdot 40} \cdot 100 \quad [\%] \quad (E2)$$

- Perda de Vida Útil em um Intervalo do Ciclo de Carga:

$$PVs\% = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 \quad [\%] \quad (E3)$$

dividindo-se (E3) por (E2) resulta:

$$V_s = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 40 = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot 350400 \quad [pu] \quad (E4)$$

onde:

Vs: fator multiplicador associado à perda de vida;

A: constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel para transformador de classe 55°C: A=-14,133 pu;  
para transformador de classe 65°C: A=-13,391 pu;

B: constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel B=6972.15; e

$\Theta_{es}$ : temperatura (°C) do ponto mais quente do enrolamento do transformador no intervalo de tempo do ciclo de carga.

## 2.2 Fator Multiplicador “Vf”

O fator multiplicador “Vf”, associado ao aumento do risco de falha de um transformador operando em sobrecarga, é derivado da análise de confiabilidade do transformador. A taxa de falha em sobrecarga é estimada a partir da taxa de falha típica, corrigida com o fator multiplicador de sobrecarga “Vfs” obtido a partir da “teoria de Arrhenius”.

Isto é:

- Taxa de Falha de Transformador em um Período de Tempo

$$F = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\Delta T \cdot \ln\left(1 - \frac{TXf}{100}\right)} \right) [\%] \quad (E5)$$

onde:

F: taxa de falha (%/ano) do transformador no período  $\Delta T$  considerado;

$\Delta T$ : período de tempo (ano) de expectativa referencial de vida útil; e

TXf: taxa de falha (%/ano) típica de transformador de potência do Sistema Elétrico Brasileiro. (Fl. 3 do Anexo da Resolução ANEEL nº , de de de 2002)

Assim, é considerado o período de  $\Delta T$  (ano) para a expectativa referencial de vida útil de um transformador e a taxa de falha em condição de sobrecarga proporcional ao fator multiplicador de sobrecarga “Vfs”, para a determinação do fator multiplicador “Vf”. O valor deste fator, em base mensal, representa a média ponderada dos valores de “Vf”, determinados em cada intervalo de tempo do ciclo de carga.

Isto é:

$$Vf = \frac{1 - e^{-\Delta T \cdot Vfs \cdot \ln\left(1 - \frac{TXf}{100}\right)}}{1 - e^{-\Delta T \cdot \ln\left(1 - \frac{TXf}{100}\right)}} [pu] \quad (E6)$$

onde:

Vfs: fator multiplicador associado à perda de vida útil (relacionada àquela com a temperatura limite do ponto mais quente do enrolamento);

$\Delta T$ : período de tempo (ano) de expectativa referencial de vida útil; e

TXf: taxa de falha (%/ano) típica de transformador de potência do Sistema Elétrico Brasileiro.

O fator multiplicador Vfs é determinado, em um intervalo de tempo do ciclo de carga, pela relação entre a perda de vida da isolação do transformador na condição de carga atual e a perda de vida verificada na condição de carga com temperatura limite do ponto mais quente do enrolamento.

Isto é:

- Perda de Vida na Temperatura Limite:

$$PVI\% = 10^{-\left(\frac{B}{273 + \Theta_{en}} + A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 [\%] \quad (E7)$$

- Perda de Vida em um Intervalo do Ciclo de Carga:

$$PV_S\% = 10^{-\left(\frac{B}{273+\Theta_{es}}+A\right)} \cdot \Delta t_i \cdot 100 \quad [\%] \quad (E8)$$

sendo as temperaturas absolutas limite e em carga dadas, respectivamente, por:

$$T_{en} = 273 + \Theta_{en} \quad [K] \quad (E9)$$

$$T_{es} = 273 + \Theta_{es} \quad [K] \quad (E10)$$

Dividindo-se (E8) por (E7) e introduzindo (E9) e (E10) resulta:

$$Vf_S = 10^{B \cdot \left(\frac{1}{T_{en}} - \frac{1}{T_{es}}\right)} \quad (E11)$$

onde:

(Fl. 4 do Anexo da Resolução ANEEL nº , de de de 2002)

B: constante da curva de expectativa de vida da isolação de papel B=6972.15;

$\Theta_{en}$ : temperatura (°C) limite do ponto mais quente do enrolamento, conforme a seguir:

para transformador de classe 55°C:  $\Theta_{en} = 40+55+10=105^\circ\text{C}$

para transformador de classe 65°C:  $\Theta_{en} = 40+65+15=120^\circ\text{C}$ ; e

$\Theta_{es}$ : temperatura (°C) do ponto mais quente do enrolamento do transformador no intervalo de tempo do ciclo de carga.

### 2.3 Adicional Financeiro por Sobrecarga

Quando houver um carregamento acima da potência nominal de um transformador, calcula-se o fator “Vs” para cada ciclo de carga dentro do mês em que foi constatada a sobrecarga. Se o fator “Vs” mensal resultante for maior que a unidade, procede-se o cálculo do correspondente Fator de Carregamento “S”. Este fator será multiplicado pelo Pagamento Base, que corresponde ao duodécimo da receita anual permitida do equipamento de transformação, resultando um valor de Receita Parcial do equipamento no mês, que, diminuído do Pagamento Base, resultará no adicional financeiro a ser creditado à concessionária de transmissão proprietária do equipamento.

Isto é:

$$\text{Adicional Financeiro} = S \cdot P_B - P_B = P_B (S - 1)$$

onde:

S: fator de carregamento resultante no período de um mês; e

$P_B$ : Pagamento Base correspondente ao transformador em sobrecarga.

#### 2.4 Valores Referenciais para uso desta Resolução:

a) A taxa de falha típica de transformador do Sistema Elétrico Brasileiro operando sob condições normais, sem sobrecarga, corresponde ao valor  $TXf = 1,73\%/ano$ , conforme Relatório Técnico do GCOI “ RT.SCM.CDE.026 - Análise Estatística de Desempenho de Transformadores - 1998”; e

b) A expectativa referencial de vida útil de transformadores  $\Delta T$  é de 40 (quarenta) anos, conforme Resolução ANEEL nº 044, de 17 de março de 1999.