



BEM-VINDOS AO WEBINAR

“Estado da Arte de Transformadores Eficientes nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica”

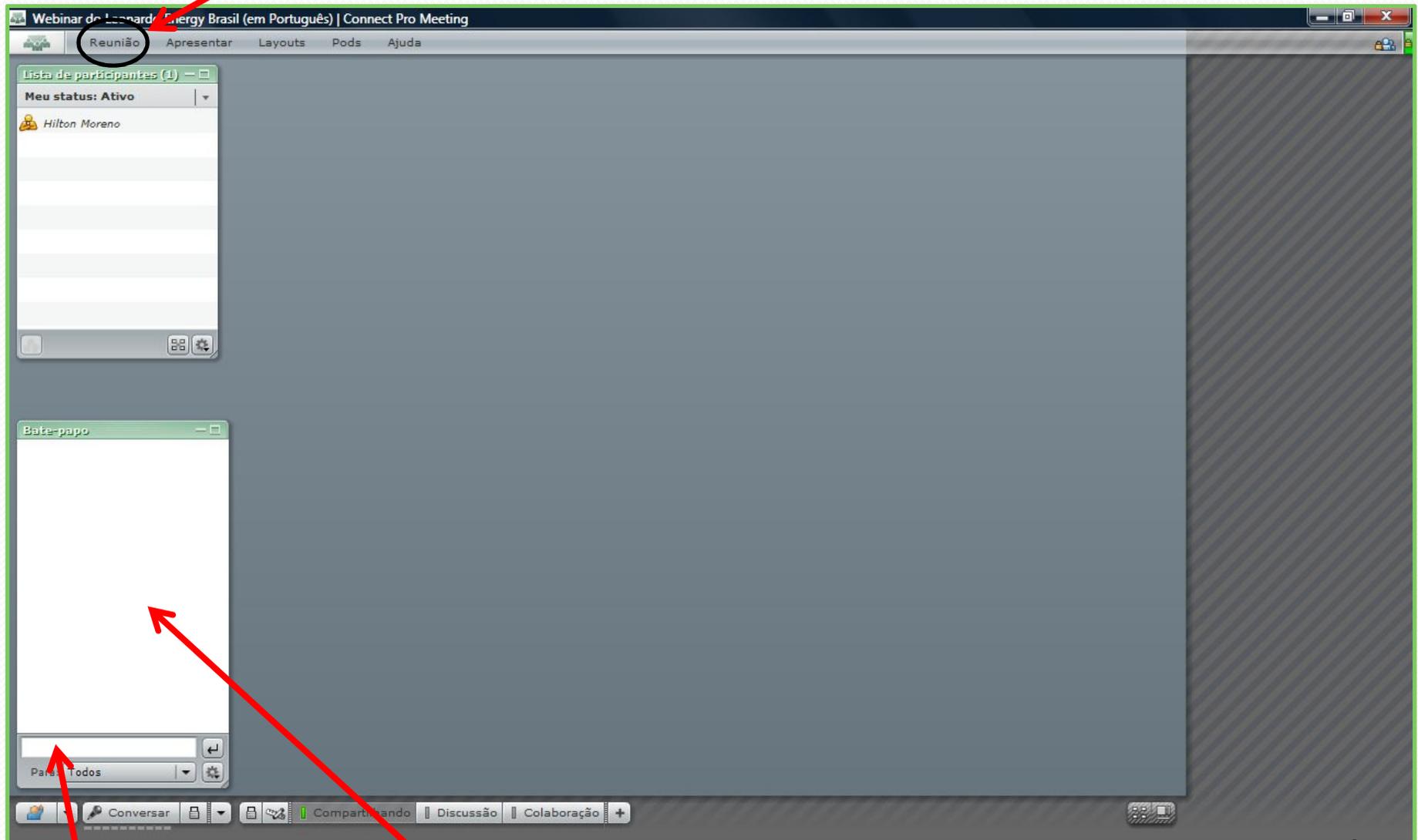
Parte 2: Análise Financeira para Transformadores Eficientes

Apresentador: Eng° Diego Coriolano
Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá
www.unifei.edu.br



LAT - EFEI

1. Teste de som: Reunião → Gerenciar minhas configurações → Assistente de configuração de áudio → Sigam as instruções.



3. Digitem aqui

2. Espaço para apresentação pessoal , eventuais perguntas e/ou comentários - respostas no final da apresentação.



PRINCIPAIS REGRAS DESTE WEBINAR:

- **As perguntas e/ou comentários deverão ser feitas unicamente por escrito, utilizando-se o campo apropriado;**
- **Perguntas e/ou comentários podem ser enviadas durante o desenvolvimento da apresentação, mas serão respondidas somente após o final da mesma;**
- **Pode acontecer que, dependendo do número de perguntas e do tempo disponível, algumas perguntas fiquem sem resposta durante o webinar;**
- **Se houver interrupção inesperada do webinar, certifique-se que sua conexão com a internet esteja funcionando normalmente e tente se conectar novamente;**
- **Não é emitido certificado de participação no webinar.**

PALESTRANTE: Eng° Diego Coriolano

Diego L. Coriolano nasceu em 1984 em Aracaju (SE).
Recebeu o diploma de Engenheiro Eletricista pela
Universidade Federal de Sergipe em 2007. Atualmente
é aluno de Mestrado na Universidade Federal de
Itajubá (MG).

MEDIADOR: Eng° Eduardo Gradiz

Consultor do Procobre – Instituto Brasileiro do Cobre



Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Sistemas Elétricos e de Energia
Laboratório de Alta Tensão



Estado da Arte de Transformadores Eficientes nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Parte 2 : Análise Financeira para Transformadores Eficientes

Eng° Diego Lopes Coriolano

Sob orientação do **Prof. Dr. Manuel Luis Barreira Martinez**, coordenador do Laboratório de Alta Tensão e do Grupo de Estudos sobre Transformadores Eficientes da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).



Introdução

- Transformadores representam um terço das perdas em sistemas de distribuição e transmissão.
- Aumento da eficiência → Redução das perdas em vazio e sob carga.
- Perdas em vazio → Projeto do núcleo.
- Perdas sob carga → Projeto dos enrolamentos.
- Os transformadores devem ser adequados às perdas estabelecidas em normas.



Introdução

- Objetivos:
 - Análise econômica do investimento na possível substituição dos transformadores;
 - Verificar o melhor ano para início do investimento;
 - Comparação entre a metodologia da ANEEL e a tradicional (perdas capitalizadas).
- Os dados utilizados foram fornecidos pela AES Sul.



Metodologia Para Cálculo do Investimento

- Regras definidas pela ANEEL
 - Ciclos tarifários com duração de 5 anos;
 - Última revisão para a AES Sul → 2008.
 - Primeiro ciclo → Ganhos com a redução das perdas.
 - Períodos subseqüente → Ganhos com a remuneração dos ativos.
 - Período de análise de 10 anos.



Metodologia Para Cálculo do Investimento – Primeiro Ciclo

- Ganho com a redução das perdas devido a substituição dos transformadores. (Apenas nesse ciclo)
- Custos do investimento:
 - Diferença entre os transformadores eficientes e padrão.
 - Não foi considerado manutenção e instalação.



Metodologia Para Cálculo do Investimento – Primeiro Ciclo

- As tarifas para as perdas são:

$$T_{WO} = 8,76.C_{EE}$$

$$T_{WL} = 0,365.C_{EE}.FE$$

- O ganho com a redução das perdas de energia - ΔC_E são constantes para todos os anos do ciclo.

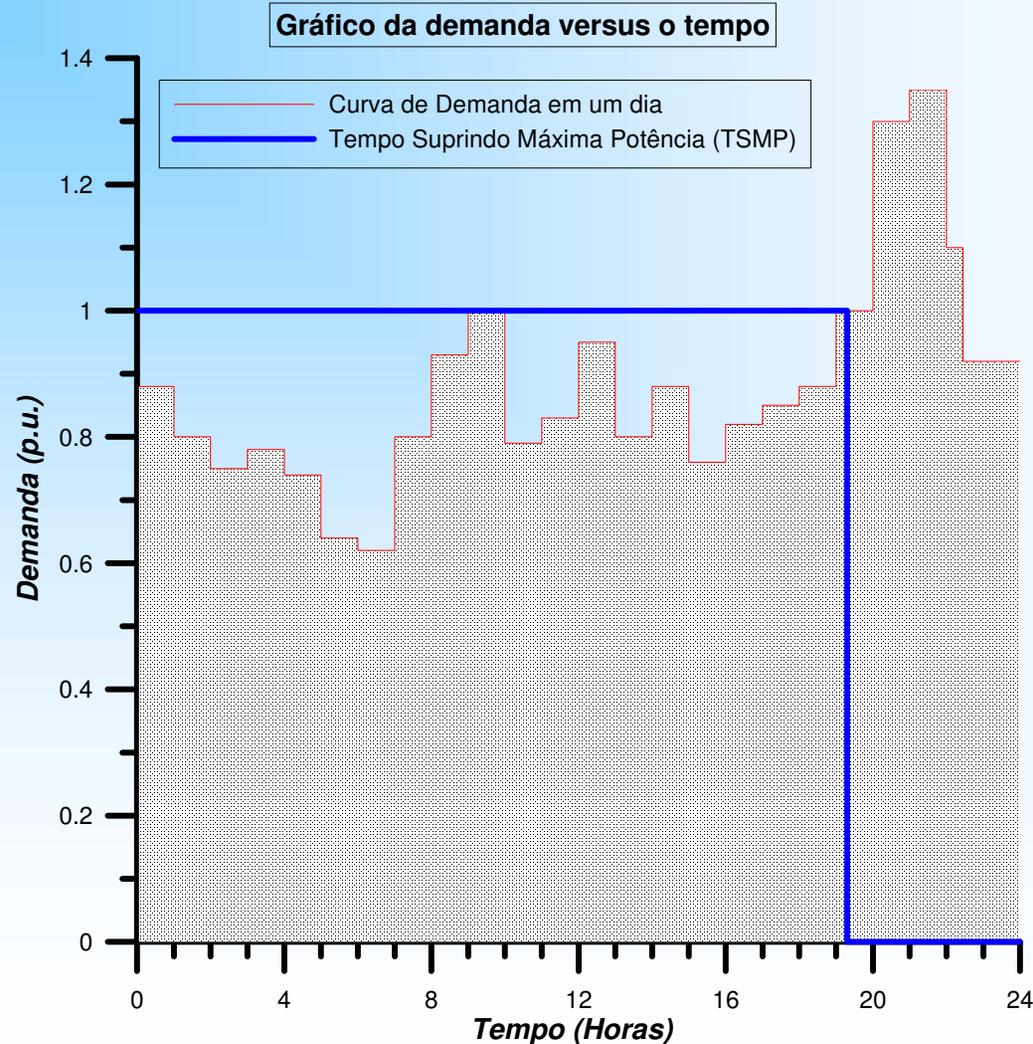
$$\Delta C_E = (C_{WO} + C_{WL})_P - (C_{WO} + C_{WL})_E$$

- O valor presente dos ganhos referentes ao primeiro ciclo é:

$$V_{P1^oP \rightarrow RT} = \Delta C_E \cdot \frac{(1 + j_1)^n - 1}{(1 + j_1)^{p+n} \cdot j_1}$$



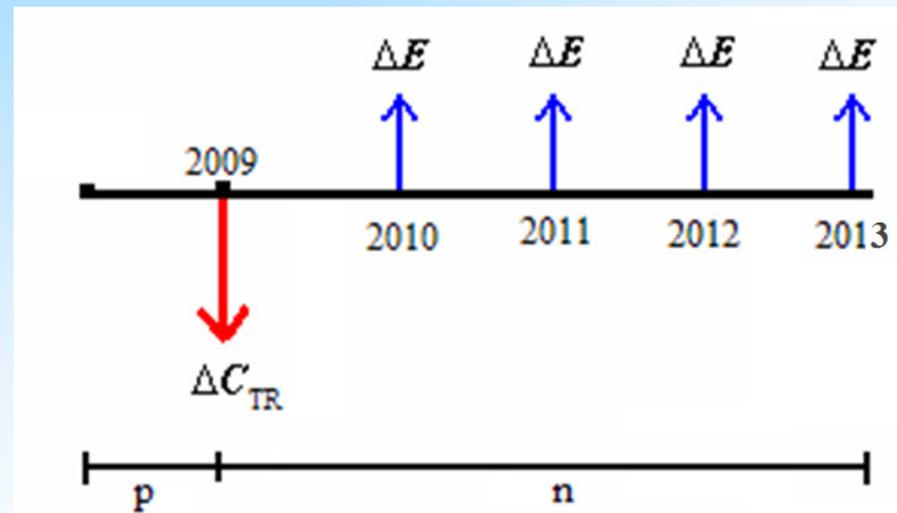
Fator de Energia Consumida - FE





Metodologia Para Cálculo do Investimento – Primeiro Ciclo

- Investimento em 2009, ano base 2009.





Metodologia Para Cálculo do Investimento – Ciclos subsequentes

- Os ganhos durante estes ciclos são devido à remuneração dos ativos. Considerando a depreciação e a inflação do período.

$$\Delta C_{TRD_k \rightarrow C} = \Delta C_{TR} \frac{(1+i)^{n+5.(k-2)} \{1 - [n+5.(k-2)].D\}}{(1+j_1)^p}$$

- O ganho com a remuneração do ativo:

$$G_{RAK} = \Delta C_{TRD_k \rightarrow C} WACC_k$$



Metodologia Para Cálculo do Investimento – Ciclos subsequentes

- Valor presente do segundo e terceiro ciclo:

$$V_{P2^{\circ}P \rightarrow RT} = GRA_2 \cdot \left(\frac{(1+j_2)^5 - 1}{(1+j_2)^5 \cdot j_2} \right) \cdot \frac{1}{(1+j_1)^{p+n}}$$

$$V_{P3^{\circ}P \rightarrow RT} = GRA_3 \cdot \frac{(1+j_3)^{5-n} - 1}{(1+j_3)^{5-n} \cdot j_3} \cdot \frac{1}{(1+j_2)^5} \cdot \frac{1}{(1+j_1)^{p+n}}$$

- Valor Presente Total:

$$V_P = V_{P1^{\circ}P \rightarrow RT} + V_{P2^{\circ}P \rightarrow RT} + V_{P3^{\circ}P \rightarrow RT}$$



Análise Econômica - ANEEL

- Parâmetros para a análise econômica.

PARÂMETROS	VALOR	UNIDADE
Custo de Energia - C_{EE}	0,115	R\$/kWh
Perdas em Vazio (Padrão) - W_{OP} #	60	W
Perdas em Carga (Padrão) - W_{LP} #	200	W
Perdas em Vazio (Eficiente) - W_{OE} ##	49	W
Perdas em Carga (Eficiente) - W_{LE} ##	197	W
Depreciação do Transformador ao Ano - D	1	%
Inflação - i	4,5	%
WACC - 1º Ciclo	15,08	%
WACC - 2º Ciclo	11,63	%
WACC - 3º Ciclo	10,15	%

#NBR 5440:1999  Monofásico 10 kVA/15kV.

Assumido por consulta.



Análise Econômica - ANEEL

- Tendo com base os valores da tabela.
 - Calculam-se os custos das perdas em vazio e sob carga e encontra-se o ganho com a redução das perdas do transformador:

$$\Delta C_E = (60,44 + 840)_P - (49,36 + 8,27)_E$$

$$\Delta C_E = \text{R\$ } 11,21$$



Análise Econômica - ANEEL

- Os transformadores foram adquiridos no primeiro ano da análise econômica, então para esse caso o valor de “n” é 4 (quatro) e “p” assume o valor 0 (zero). Com isso calcula-se o ganho no primeiro ciclo tarifário:

$$V_{P1^{\circ}P \rightarrow RT} = 11,21 \cdot \left(\frac{(1 + 10,12/100)^4 - 1}{(1 + 10,12/100)^5 \cdot 10,12/100} \right)$$

$$V_{P1^{\circ}P \rightarrow RT} = \text{R\$ } 35,43$$



Análise Econômica - ANEEL

- Calcula-se a variação do custo depreciado do ativo. A diferença de custo entre o transformador eficiente e padrão foi considerado R\$50,00.

$$\Delta C_{TRD_2} = 50 \frac{1 - [4 + 5 \cdot (2 - 2)] \cdot 4 / 100}{(1 + 4,5 / 100)^0}$$

$$\Delta C_{TRD_2} = R\$ 42,00$$



Análise Econômica - ANEEL

- Em seguida é necessário corrigir o custo do equipamento depreciado com a inflação média do período:

$$\Delta C_{TR_{D_2 \rightarrow C}} = 42,00(1 + 4,5/100)^{4+5 \cdot (2-2)}$$

$$\Delta C_{TR_{D_2 \rightarrow C}} = R\$ 50,09$$



Análise Econômica - ANEEL

- O ganho anual associado à remuneração do ativo é igual ao valor depreciado e corrigido multiplicado pelo valor da WACC do segundo período após a revisão tarifária:

$$G_{RA_2} = 50,09.11,63 / 100$$

$$G_{RA_2} = R\$ 5,82$$



Análise Econômica - ANEEL

- O ganho com a remuneração do ativo para ser adicionado com o ganho devido às reduções das perdas deve ser trazido para o valor presente

$$V_{P2^oP \rightarrow RT} = 5,82 \cdot \left(\frac{(1 + 6,82/100)^5 - 1}{(1 + 6,82/100)^5 \cdot 6,82/100} \right) \cdot \frac{1}{(1 + 10,12/100)^{0+4}}$$

$$V_{P2^oP \rightarrow RT} = R\$ 16,32$$



Análise Econômica - ANEEL

- Para o terceiro e último período da revisão tarifária as equações são idênticas às utilizadas no segundo ciclo:

$$\Delta C_{TR_{D_3 \rightarrow C}} = 50,00 \frac{(1 + 4,5/100)^{4+5(3-2)} \{1 - [4 + 5 \cdot (3 - 2)] \cdot 4/100\}}{(1 + 10,12/100)^0}$$

$$\Delta C_{TR_{D_3 \rightarrow C}} = R\$ 46,59$$

- Deste modo para o terceiro período da revisão tarifária:

$$G_{RA_3} = 46,59 \cdot 10,15/100 = R\$4,83$$



Análise Econômica - ANEEL

- Em termos de valor presente:

$$V_{P3^{\circ}P \rightarrow RT} = 4,83 \cdot \frac{(1 + 5,41/100)^{5-4} - 1}{(1 + 5,41/100)^{5-4} \cdot 5,41/100} \cdot \frac{1}{(1 + 6,82/100)^5} \cdot \frac{1}{(1 + 10,12)^{0+4}}$$

$$V_{P3^{\circ}P \rightarrow RT} = R\$ 2,24$$

- Deste modo, o valor presente associado aos ganhos dos ciclos tarifários com o investimento de cinquenta reais é igual a R\$ 53,99. Logo, através da equação 5.15, existe um fluxo de caixa positivo de R\$ 3,99.



Análise de Sensibilidade Ano Base 2009 - ANEEL

- Variação dos Parâmetros.

$\Delta C_{E \rightarrow P}$ (R\$)	FE	VALOR PRESENTE (R\$)
1.000,00	5	-447,11
	10	-360,85
	15	-274,60
500,00	5	-132,66
	10	-46,40
	15	39,85
DIFERENÇA DE CUSTOS - VALOR PRESENTE NULO		
426,22	10	0,00
563,37	15	0,00
FE - VALOR PRESENTE NULO		
500,00	12,69	0,00
750,00	21,80	0,00

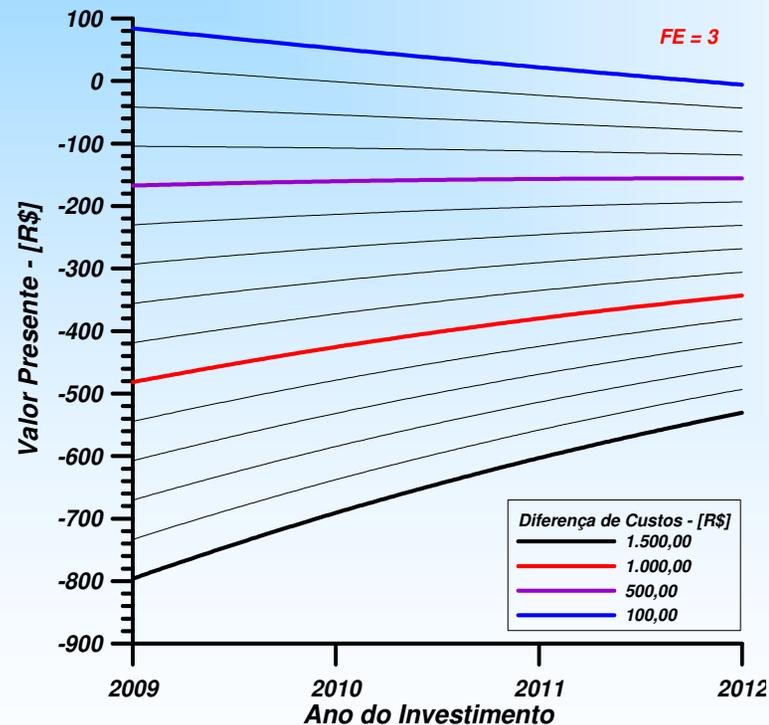
INÍCIO DO INVESTIMENTO	$\Delta C_{E \rightarrow P}$ (R\$)	VALOR PRESENTE (R\$)
2009	1.000,00	-326,35
2010		-314,80
2011		-309,64
2012		-309,84
2009	500,00	-11,90
2010		-49,58
2011		-86,45
2012		-122,38

FE = 12 h/dia



Análise de Sensibilidade Ano Base 2009 - ANEEL

- Variação da Diferença de Custos e do ano do investimento.





Análise Econômica – Perdas Capitalizadas (PROPHET)

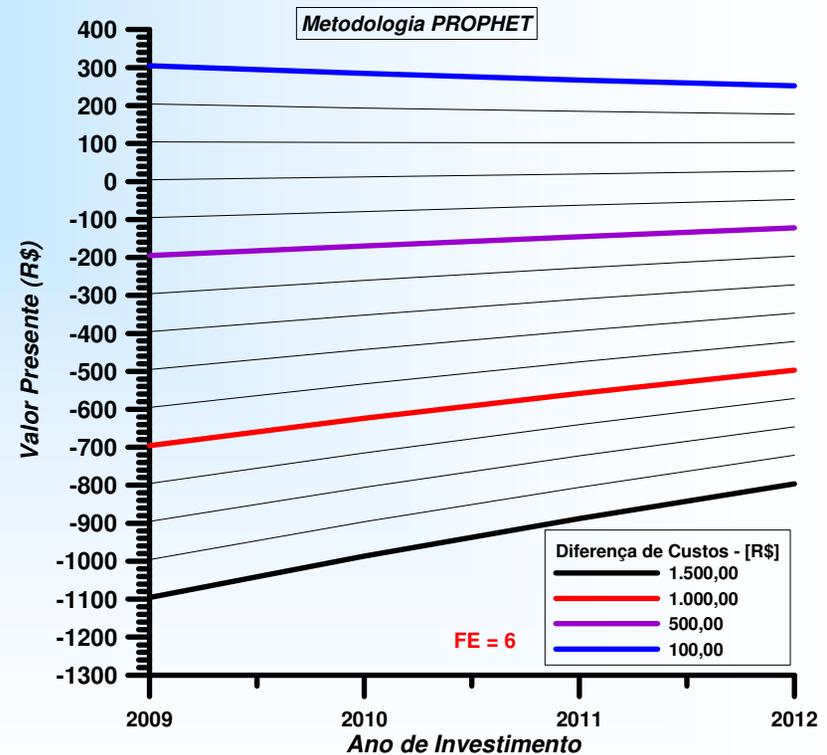
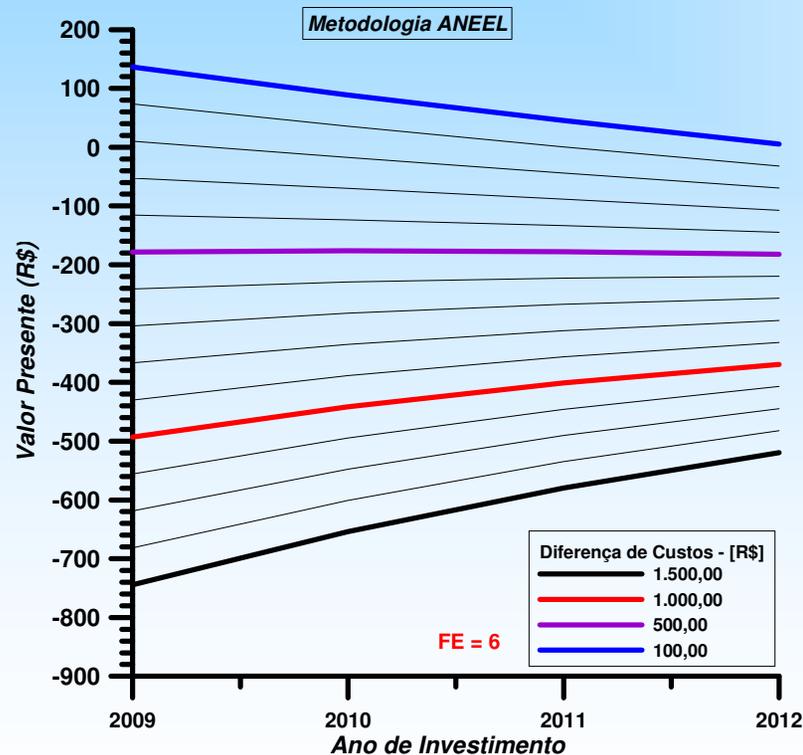
- Ganhos considerando apenas a redução das perdas.
- O valor presente é calculado através da seguinte equação:

$$V_P = \frac{\Delta C_E}{(1+j_1)^{p+n}} \cdot \left(\frac{(1+j_1)^n - 1}{j_1} + \frac{(1+j_2)^5 - 1}{(1+j_2)^5 \cdot j_2} + \frac{(1+j_3)^{5-n} - 1}{(1+j_3)^{5-n} \cdot j_3} \cdot \frac{1}{(1+j_2)^5} \right)$$



Comparação Metodologia ANEEL - PROPHET

- Variação da Diferença de Custos e do ano do investimento.





Projeto em Andamento

- Os projetos dos transformadores eficientes foram gerados no Laboratório de Alta Tensão (LAT-EFEI) utilizando o aplicativo desenvolvido na tese de doutorado de Alessandra Freitas Picanço.
- Os projetos foram realizadas através de duas opções:
 - A “opção 1” é referente ao transformador eficiente projetado pelo LAT-EFEI e a “opção 2” foi fornecida individualmente por todos os fabricantes buscando a menor perda em vazio possível deixando livre a perda total



Projeto em Andamento

<i>Descrição</i>	<i>Perdas em Vazio (W)</i>	<i>Perdas em Carga (W)</i>	<i>Impedância (%)</i>	<i>Custo (R\$)</i>
Fabricante I				
<i>Padrão</i>	60	200	2,5	1.501,00
<i>Opção 1</i>	49	197	2,5	1.567,00
<i>Opção 2</i>	42	268	3	1.485,00
Fabricante II				
<i>Padrão</i>	60	200	2,5	1.510,00
<i>Opção 1</i>	48,9	197,51	2,5	1.520,00
<i>Opção 2</i>	44	250	2,8	1.480,00
Fabricante III				
<i>Padrão</i>	60	200	2,5	1.488,00
<i>Opção 1</i>	49	198	2,5	1.580,00
<i>Opção 2</i>	40	244	3	1.640,00



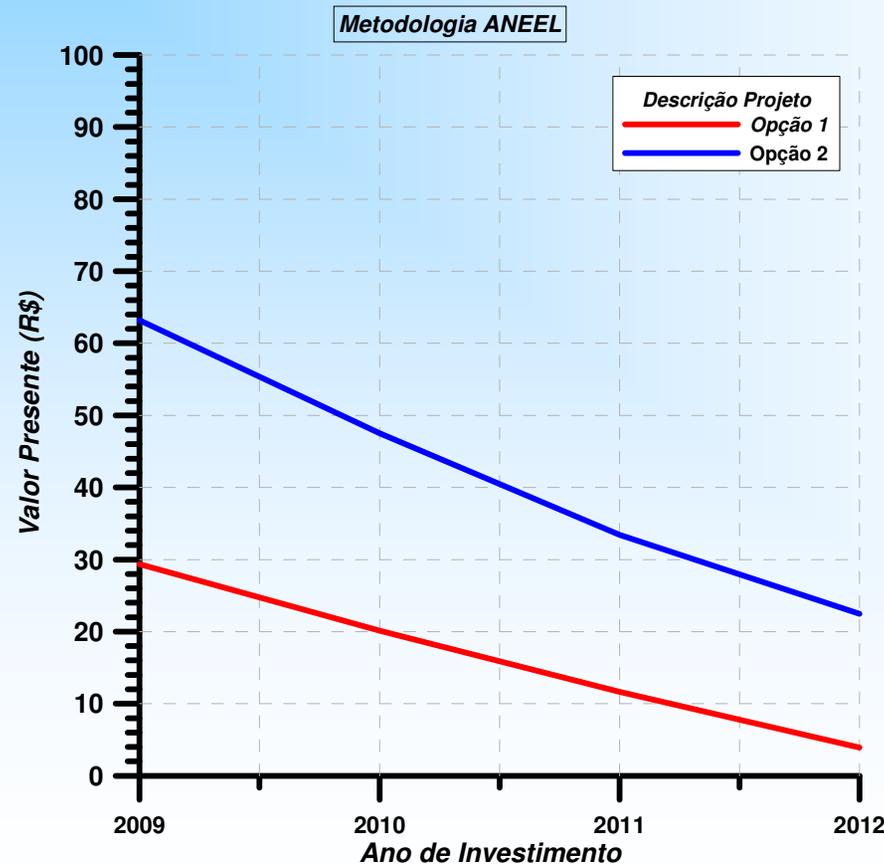
Projeto em Andamento - Avaliação Segundo ANEEL

<i>Descrição</i>	<i>Custo (R\$)</i>	<i>Diferença Custo (R\$)1</i>	<i>Fluxo Caixa (R\$)</i>	<i>TRI (Ano)</i>
Fabricante I				
<i>Padrão</i>	1.501,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.567,00	66,00	-6,08	>10
<i>Opção 2</i>	1.485,00	-16,00	58,36	0
Fabricante II				
<i>Padrão</i>	1.510,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.520,00	10,00	29,39	0,97
<i>Opção 2</i>	1.480,00	-30,00	63,19	0
Fabricante III				
<i>Padrão</i>	1.488,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.580,00	92,00	-22,56	>10
<i>Opção 2</i>	1.640,00	152,00	37,74	>10



Projeto em Andamento - Avaliação Segundo ANEEL

- Com o objetivo de verificar o melhor ano para o início do processo de aplicação dos transformadores eficientes.





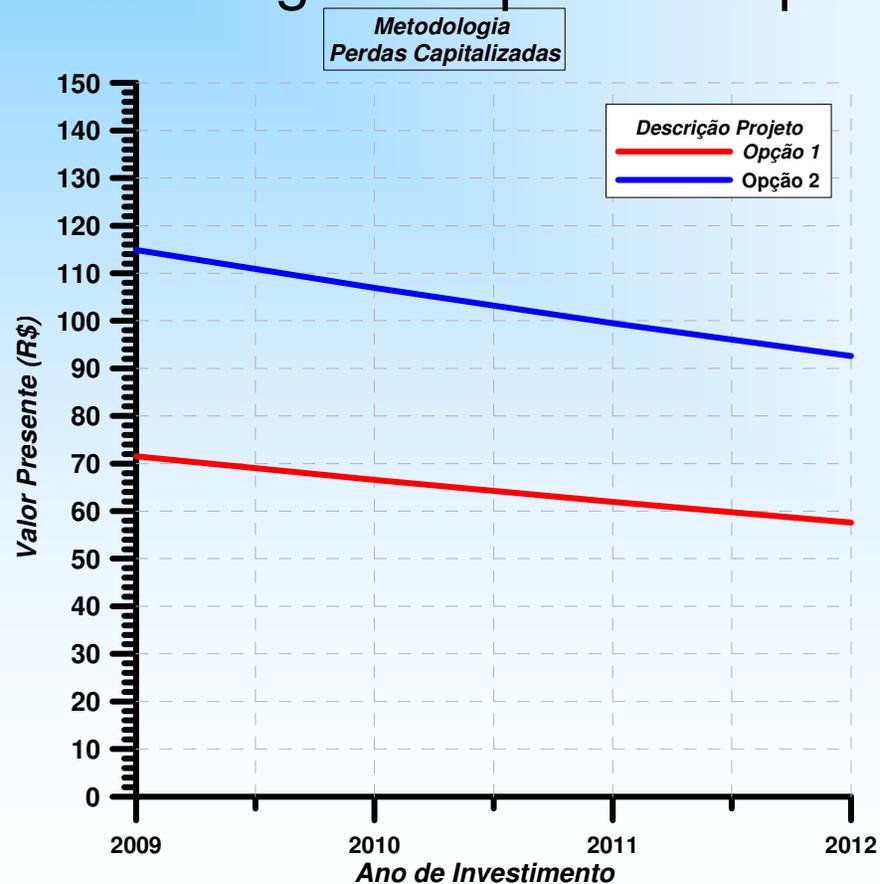
Projeto em Andamento – Segundo Perdas Capitalizadas

<i>Descrição</i>	<i>Custo (R\$)</i>	<i>Diferença Custo (R\$)</i>	<i>Fluxo Caixa (R\$)</i>	<i>TRI (Ano)</i>
Fabricante I				
<i>Padrão</i>	1.501,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.567,00	66,00	36,54	4,37
<i>Opção 2</i>	1.485,00	-16,00	114,94	0
Fabricante II				
<i>Padrão</i>	1.510,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.520,00	10,00	71,50	0,58
<i>Opção 2</i>	1.480,00	-30,00	114,88	0
Fabricante III				
<i>Padrão</i>	1.488,00	-	-	-
<i>Opção 1</i>	1.580,00	92,00	20,27	6,59
<i>Opção 2</i>	1.640,00	152,00	32,49	6,66



Projeto em Andamento – Segundo Perdas Capitalizadas

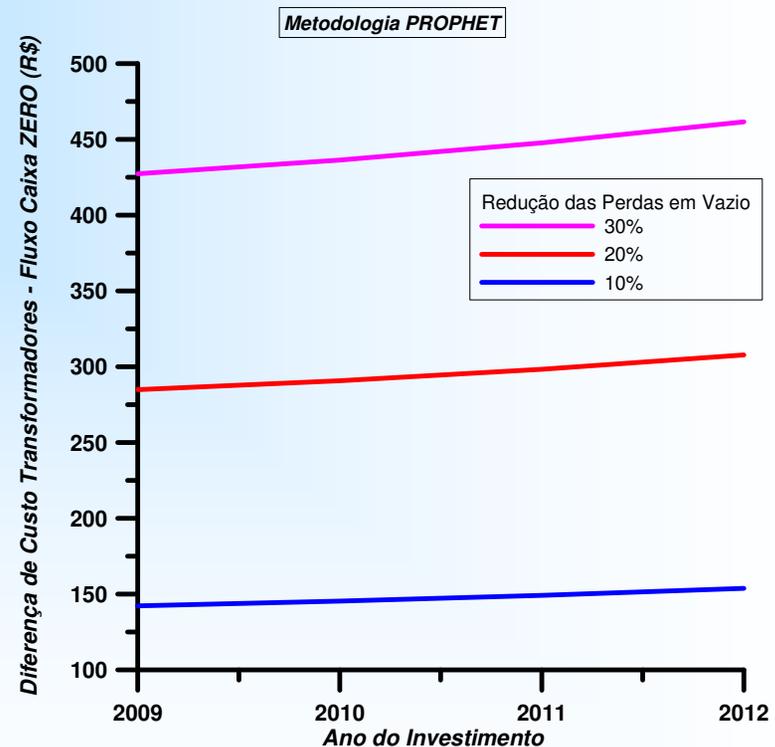
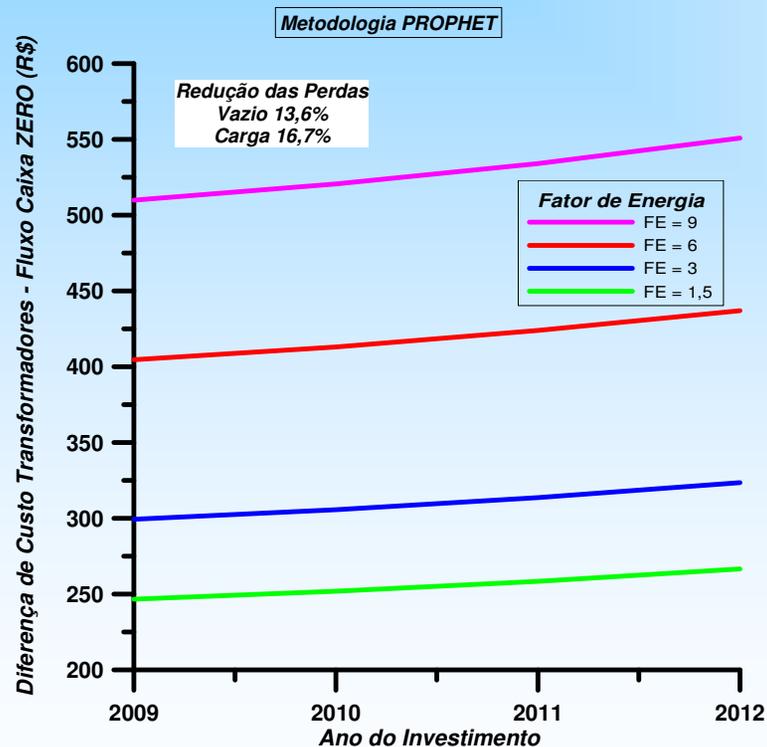
- O melhor ano para a substituição dos transformadores segundo a metodologia das perdas capitalizadas





Comentários

- FE baixo → reduções das perdas em vazio.





Comentários

- Diferença de custos elevados → FE Elevado.
- O Fator de Energia Consumido apesar de apresentar um valor baixo, pode apresentar um Fluxo de Caixa positivo, em 10 anos.
- Percebe-se que a “Opção 2” apresenta nítida vantagem financeira em relação às outras opções, para os Fabricantes I e II, essa diferença de preço é explicada pelo aumento da Impedância Percentual do transformador.



Comentários

- O melhor ano para realizar o investimento - segundo as metodologias ANEEL - é o atual, pois apresenta maior retorno financeiro em relação aos demais anos dentro do mesmo ciclo tarifário de cinco anos.
- O processo de aplicação de transformadores eficientes para apresentar um viés econômico necessita considerar os modelos de remuneração do investimento, os ganhos com as perdas e a amortização dos ativos.



Comentários

- O procedimento de cálculo sugerido deve contemplar o levantamento da carga, na forma do Fator de Energia Consumida – FE, que tem manter certa correlação com os modelos térmicos para os transformadores.



Dúvidas e Contato



Diego Lopes Coriolano
diego@lat-efei.org.br
(79)8835-8818