



Empresa de Pesquisa Energética

***Substituição do Transformador  
500/345 KV da Subestação Poços de  
Caldas – MG***

***Nota Técnica***

**Janeiro de 2021**

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).



GOVERNO FEDERAL  
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

**Ministério de Minas e Energia**  
**Ministro**

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Júnior

**Secretário-Executivo do MME**  
Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético (interino)**  
Paulo César Magalhães Domingues

**Secretário de Energia Elétrica**  
Rodrigo Limp Nascimento

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis**  
José Mauro Ferreira Coelho

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**  
Alexandre Vidigal de Oliveira



*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**  
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais**  
Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**  
Erik Eduardo Rego

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível**  
Heloísa Borges Esteves

**Diretor de Gestão Corporativa**  
Ângela Regina Livino de Carvalho

URL: <http://www.epe.gov.br>

**Sede**  
Esplanada dos Ministérios, Bloco U, Sl. 744  
70065-900 – Brasília – DF  
**Escritório Central**  
Praça Pio X, nº 54 – Centro  
20091-040 - Rio de Janeiro – RJ

# ESTUDOS PARA A LICITAÇÃO DA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

## *Nota Técnica*

### *Substituição do Transformador da Subestação 500/345 kV Poços de Caldas – MG*

**Coordenação Geral**  
Erik Eduardo Rego

**Coordenação Executiva**  
José Marcos Bressane

**Equipe Técnica:**

Maxwell Cury Júnior (Coordenação)  
Bruno Cesar Mota Maçada

**Nº EPE-DEE-NT-091/2019-rev1**  
Data: 15 de janeiro de 2021

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

## IDENTIFICAÇÃO CONTRATUAL

 <p>Empresa de Pesquisa Energética</p>	<p><i>Contrato</i></p> <p><i>Data de assinatura</i></p>	
<p><i>Projeto</i></p> <p><b>ESTUDOS PARA A LICITAÇÃO DA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO</b></p>		
<p><i>Área de estudo</i></p> <p><b>Estudos do Sistema de Transmissão</b></p>		
<p><i>Subárea de estudo</i></p> <p><b>Nota Técnica</b></p>		
<p><i>Produto (Nota Técnica ou Relatório)</i></p> <p><b>EPE-DEE-NT-091/2019 Substituição do Transformador 500/345 kV da Subestação Poços de Caldas – MG</b></p>		
<p><i>Revisões</i></p> <p>Rev1</p>	<p><i>Data</i></p> <p>15.01.2021</p>	<p><i>Descrição sucinta</i></p> <p>Revisão 1</p>

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

# **APRESENTAÇÃO**

A revisão 01 dessa Nota Técnica visa avaliar a influência das obras de Rede Básica e Rede Básica de Fronteira recomendadas no estudo EPE-DEE-RE-064/2020-rev0 - Expansão da Capacidade de Transmissão da Região Norte de Minas Gerais” [3] no carregamento do transformador 500/345 kV da subestação Poços de Caldas e, conseqüentemente, determinar a potência dessa transformação para substituição por esgotamento da vida útil técnica e regulatória por solicitação da concessionária Eletrobras Furnas ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS [2].

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso).

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>0</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
1.1 Considerações Iniciais.....	4
1.2 Objetivos Gerais.....	4
1.3 Cenários Analisados.....	4
<b>2 CONCLUSÕES.....</b>	<b>5</b>
<b>3 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>6</b>
<b>4 PROJEÇÕES DE MERCADO.....</b>	<b>7</b>
<b>5 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA.....</b>	<b>8</b>
5.1 Cenários.....	8
5.2 Resultado da análise.....	11
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>13</b>
<b>7 FICHA PET.....</b>	<b>14</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1 – Diagrama elétrico da Rede Básica da região Sul de MG.....	8
Figura 5-2 – Despacho das usinas da Bacia do rio Grande .....	11
Figura 5-3 – Despacho das usinas da Bacia do rio Paranaíba.....	11
Figura 5-4 – Carregamento da transformação 500/345 kV (%/Cn) .....	12

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

No ano de 2019 a concessionária Eletrobras Furnas solicitou ao ONS a troca do banco de autotransformadores monofásicos 500/345 kV da subestação Poços de Caldas justificando o esgotamento da vida útil técnica e regulatória [2]. A substituição deverá ocorrer até dezembro de 2022, conforme informação dessa concessionária.

O ONS sinalizou que essa transformação apresenta sobrecarga em regime normal de operação dadas determinadas condições de despacho das usinas hidráulicas conectadas nas malhas de 345 kV e 500 kV. Isso se deve a estratégia energética recentemente adotada por este operador com objetivo de recuperar os níveis de armazenamento dos reservatórios da região Sudeste/Centro-Oeste. A estratégia consiste em reduzir a geração das principais usinas que possuem reservatório e estão localizadas nos principais rios da região Sudeste/Centro-Oeste, destacando-se os rios Grande e Paranaíba, o que tem por consequência um acréscimo de fluxo na transformação 500/345 kV da SE Poços de Caldas.

Diante do exposto, faz-se necessário que a EPE realize análises do comportamento dos fluxos nessa transformação no longo prazo, de forma a determinar se há necessidade de aumento da capacidade operativa desse novo equipamento.

## 1.2 Objetivos Gerais

O objetivo deste estudo é, portanto, analisar se há necessidade de alterar a capacidade das novas unidades transformadoras citadas, considerando-se a análise feita com o horizonte do Plano Decenal 2029 [1].

## 1.3 Cenários Analisados

Os cenários analisados simulam a condição de maior fluxo na transformação de interesse, portanto optou-se pelo cenário Norte Úmido, com forte geração proveniente das bacias hídricas do Norte do país (90% da capacidade instalada despachada) para o atendimento aos submercados Sudeste e Sul, e os patamares de carga média e pesada.

## 2 CONCLUSÕES

A presente revisão foi motivada pela emissão do estudo [3] em que a topologia do conjunto de obras de transmissão recomendadas para a ampliação da capacidade de transmissão do Norte de Minas Gerais poderia causar impactos na transformação 500/345 kV da SE Poços de Caldas.

O objetivo da análise foi determinar se o novo transformador a ser instalado na subestação, em substituição da unidade atual por fim de sua vida útil técnica e regulatória, deveria ter sua capacidade operativa maior ou igual àquela em operação atualmente, 560/728 MVA (normal/emergência), observando-se as demandas da subestação no longo prazo.

Concluiu-se através desse estudo que a transformação 500/345 kV da SE Poços de Caldas deve ter sua capacidade operativa de longa e curta duração estabelecida em 600/720 MVA para condições normal e emergência, respectivamente.

### **3 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se que a substituição do banco de autotransformadores monofásicos 500/345 kV da subestação Poços de Caldas seja realizada com a nova modulação de 600/720 MVA para as condições normal e emergência, respectivamente, de forma a garantir a confiabilidade de sua operação perante às necessidades sistêmicas de escoamento da geração e de atendimento à carga.

A substituição deverá ser feita através da instalação de três unidades monofásicas e uma reserva, 200 MVA cada, e exigirá investimentos da ordem de R\$ 41 Milhões, conforme detalhado no Capítulo 7.

## **4 PROJEÇÕES DE MERCADO**

Os dados de mercado utilizados para elaboração desse estudo constam na base de dados do Plano Decenal 2029 [1] e foram informados à EPE pelas distribuidoras de energia elétrica.

## 5 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA

A abordagem adotada no presente estudo considerou análise de fluxo de potência em regime normal e em situações de contingências simples em unidades transformadoras da Rede Básica e Rede Básica de Fronteira ou linhas de transmissão da Rede Básica. Para o sistema de distribuição as análises consideraram os fluxos e carregamentos em condições normais de operação.

A Figura 5-1 mostra o mapa geolétrico regional, no qual é possível ver que a subestação Poços de Caldas possui conexão em 500 kV com as subestações Fernão Dias, Araraquara e Itajubá 3 e em 345 kV com as subestações Furnas, Estreito, Campinas, Guarulhos e Mogi das Cruzes.

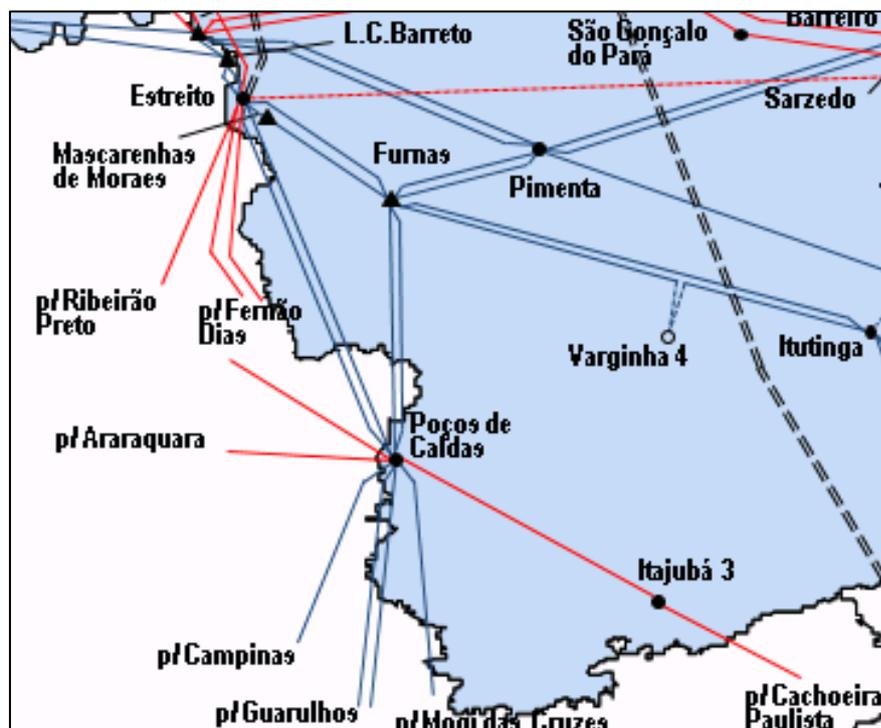


Figura 5-1 – Diagrama elétrico da Rede Básica da região Sul de MG

### 5.1 Cenários

A composição dos cenários de geração simulados considerou as premissas energéticas adotadas pelo ONS para preservação dos níveis dos reservatórios de usinas do Sudeste, conforme descrito na NT ONS 0110/2020 - Avaliação do Carregamento da Transformação 500/345 kV de Poços de Caldas[4]. Sendo assim, buscou-se manter os despachos das usinas de acordo com a divisão realizada em 2 grupos: as que carregam a transformação 500/345 kV da SE Poços de Caldas e as

que aliviam esse carregamento. A tabela 5-1 ilustra as usinas que foram consideradas em cada grupo de geração.

G1 - CARREGAM		G2 – ALIVIAM	
Marimbondo	Jurumirim	Furnas	A.Aguiar 1
Água Vermelha	Pirajú	Luís Carlos Barreto	A.Aguiar 2
São Simão	Chavantes	Itutinga e Camargos	Batalha
Funil	Bariri- A	M. de Moraes 345 kV	Serra do Facão
Nilo Peçanha	Barra Bonita	M. de Moraes 138 kV	Emborcação
Fontes	Rosana	Funil Grande	Itumbiara
Pereira Passos	Taquaruçu	Jaguara	Porto Colômbia
Jupia - 440kV	Canoas I	Igarapava	
Jupia - 138kV	Canoas II	Volta Grande	
Promissão	Capivara	Nova Ponte	
Porto Primavera		Miranda	

**Tabela 5-1 Influência das usinas sobre a transformação 500/345 kV Poços de Caldas**

A seguir são descritos os percentuais utilizados nos despachos das bacias hidrográficas e usinas, da forma como foram considerados nos casos estudados.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Despacho (MW)</b>	<b>Potência Instalada</b>	<b>Percentual Caso Fomecido</b>
<b>UHE</b>			
1- Jacuí(RS)	821,1	1368,5	60,0%
2- Uruguai(SC)(RS)	3536,2	5893,8	60,0%
3- Itajaí-Capivari(SC)	286,8	478,0	60,0%
4- Iguaçu(PR)(SC)	4397,0	7329,1	60,0%
5- Paraná(MS)(SP)(PR)	4791,3	6550,7	73,1%
6- Paranapanema(SP)(PR)	1775,3	2958,9	60,0%
7- Tietê(SP)	1087,2	1812,0	60,0%
8- Grande (MG)(SP)	3925,9	7506,3	52,3%
9- Paranaíba (MG)(GO)	4334,2	8529,8	50,8%
10- Paraíba do Sul (SP)(MG)(RJ)	2685,7	2903,7	92,5%
11- Paraguai(MT)(MS)	604,1	755,2	80,0%
12- Doce-Mucuri (MG)(ES)	889,9	1350,5	65,9%
13- Atlântico Leste (MG)(BA)	816,7	1020,9	80,0%
14- São Francisco (MG)(BA)(AL)(PE)	8499,3	10577,4	80,4%
15- Parnaíba (PI)	180,0	225,0	80,0%
16- Tocantins-Araguaia(GO)(TO)(PA)	12326,1	12977,3	95,0%
17- Teles Pires-Juruena(MT)(PA)	2899,6	3221,8	90,0%
18- Madeira(RO)(AM)	1214,4	1349,4	90,0%
19- Amazonas (AM)(PA)(AP)	11288,9	11883,1	95,0%
20- Araguaia (AP)	439,2	549,0	80,0%
21- Atlântico NE Oriental (CE)(RN)(PB)	0,0	0,0	0,0%
22- Atlântico NE Ocidental (MA)	0,0	0,0	0,0%
23- Itaipu 60 Hz (PR) (Bacia do Paraná)	6300,0	7200,0	87,5%
24- Itaipu 50 Hz (PR) (Bacia do Paraná)	4624,0	7200,0	64,2%
25- Complexo Madeira(Jirau+ S. Ant.)	6165,2	7360,0	83,8%

**Tabela 5-2 Despacho realizado por bacia hidrográfica**

As Bacias dos rios Grande e Paranaíba exercem maior influência no sistema elétrico de interesse. Devido a essa importância, os despachos das usinas dessas bacias estão detalhadas nas Figuras 5-2 e 5-3, respectivamente:

Número	Nome	Estado	Desp.Caso (MW)	Desp.Minimo (MW)	Desp.Máximo (MW)	Percentuais	
						Alterado	Caso Original
1001	UHE AGUA VERMELHA	SP	1116	125	1396,2	79,93%	79,93%
1005	UHE LIMOEIRO (A.S.OLIVEIR.	SP	25,6	4,4	32	90%	80%
1007	UHE CACONDE	SP	64,32	24,12	80,4	90%	80%
1008	UHE EUCLIDES DA CUNHA	SP	87,04	13	108,8	90%	80%
1427	UHE FUNIL - MG	MG	144	54	180	90%	80%
1429	UHE IGARAPAVA	MG	168	25	210	20%	80%
1430	UHE JAGUARA	MG	320	80	400	20%	80%
1432	UHE ITUTINGA	MG	41,6	19,6	52	37,69%	80%
1448	UHE VOLTA GRANDE	MG	304	75	380	20%	80%
1453	UHE SAO MIGUEL	MG	0	0	0	0%	0%
1900	UHE CAMARGOS	MG	36,8	0	46	20%	80%
3586	UHE ESTREITO(L.C.BARRETO)	MG	839	120	1048,8	20%	80%
3587	UHE FURNAS	MG	972,8	100	1216	10%	80%
3588	UHE MARIMBONDO	MG	1190	110	1488	90%	79,97%
3589	UHE MASCARENHAS DE MORAES	MG	259,2	35	324	90%	80%
3590	UHE MASCARENHAS DE MORAES	MG	144	30	180	90%	80%
3591	UHE PORTO COLOMBIA	MG	262,4	40	328	20%	80%
29991	UHE PALMEIRAS	SP	14,66	5,5	18,33	90%	79,98%
29992	UHE RETIRO	SP	14,22	5,33	17,78	90%	79,98%
Final	Todas as Usinas		6003,64	865,95	7506,31	52,3%	79,98%

Figura 5-2 – Despacho das usinas da Bacia do rio Grande

Número	Nome	Estado	Desp.Caso (MW)	Desp.Minimo (MW)	Desp.Máximo (MW)	Percentuais	
						Alterado	Caso Original
1081	UHE CACHOEIRA DOURADA	GO	27,2	10,2	34	90%	80%
1082	UHE CACHOEIRA DOURADA	GO	86,4	32,4	108	90%	80%
1083	UHE CACHOEIRA DOURADA	GO	43,2	30	54	90%	80%
1084	UHE CACHOEIRA DOURADA - RJ	GO	201,6	75,6	252	90%	80%
1085	UHE CACHOEIRA DOURADA - RJ	GO	163,2	61,2	204	90%	80%
1424	UHE AMADOR AGUIAR I (C.BR.	MG	178,8	67,05	223,5	30%	80%
1425	UHE AMADOR AGUIAR II(C.BR.	MG	177,6	66,6	222	30%	80%
1426	UHE EMBOCACAO	MG	953,6	190	1192	20%	80%
1433	UHE MIRANDA	MG	312	92	390	23,59%	80%
1435	UHE NOVA PONTE	MG	408	110	510	21,57%	80%
1445	UHE SAO SIMAO	MG	1344	180	1680	90%	80%
3585	UHE BATALHA	MG	42	7,89	52,5	20%	80%
3592	UHE ITUMBIARA	MG	1824	200	2280	20%	80%
3593	UHE CORUMBA I	GO	304,8	39	381	90%	80%
4331	UHE SALTO DO RIO VERDINHO	GO	74,4	13,95	93	90%	80%
4336	UHE SERRA DO FACAO	MG	170	63,77	212,58	90%	79,97%
4341	UHE FOZ DO RIO CLARO	GO	54,72	20,52	68,4	90%	80%
4342	UHE B.DOS COQUEIROS (GERD.	GO	72	27	90	90%	80%
4343	UHE CACU (GERDAU)	GO	52	19,5	65	90%	80%
4344	UHE SALTO	GO	97,2	36,45	121,5	90%	80%
4350	UHE TUCANO	GO	0	0	0	0%	0%
4371	UHE CORUMBA IV	GO	103,3	38,76	129,2	90%	79,95%

Figura 5-3 – Despacho das usinas da Bacia do rio Paranaíba

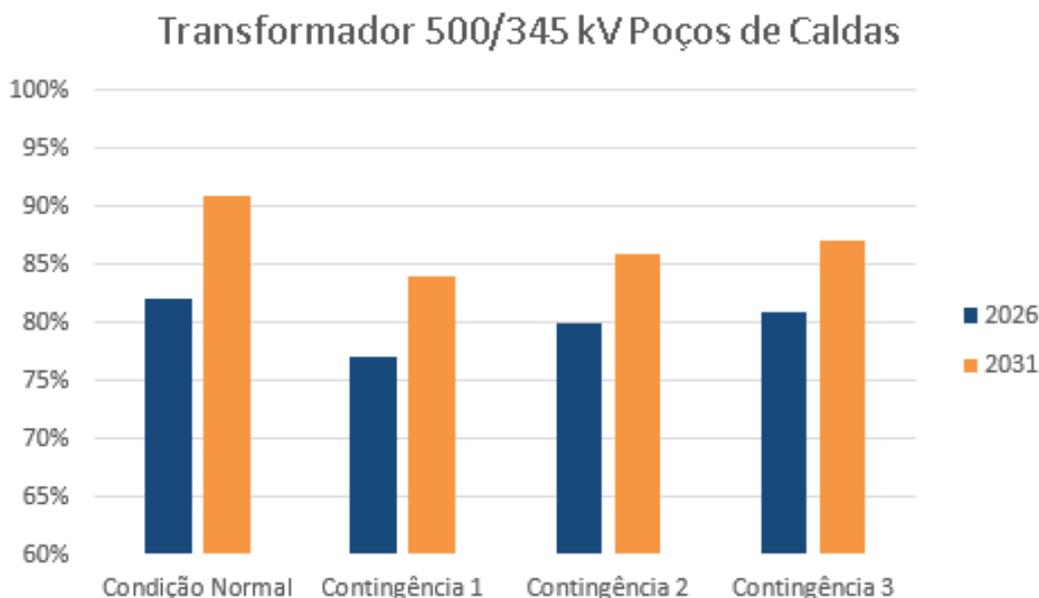
## 5.2 Resultado da análise

Atualmente o banco de autotransformadores monofásicos 500/345 kV da SE Poços de Caldas possui capacidade de 560/728 MVA em regime normal e emergência, respectivamente, o que representa uma relação de 30% entre essas capacidades. Tendo em vista que a regulamentação atual

estabelece que a capacidade de curta duração exigida seja 20% superior a capacidade de longa duração - ABNT [6] Submódulo 2.6 dos Procedimentos de Rede [7] - as análises iniciais foram realizadas adotando a premissa de manter a capacidade de curta duração em valor comercial próximo ao da unidade que se encontra em operação atualmente, 720 MVA, e conseqüentemente, a capacidade de longa duração foi fixada em 600 MVA. Os casos foram simulados com o cenário de geração descrito no item 5.1 para os patamares de carga média e pesada.

No gráfico da Figura 5-4 podemos verificar a evolução do carregamento da transformação no primeiro e último ano do período analisado, respectivamente. São demonstradas as contingências mais críticas que ocorreram durante as simulações, sendo a perda da LT 500 kV Poços de Caldas – Itajubá 3 C1, LT 345 kV Poços de Caldas – Furnas C1 e LT 345 kV Poços de Caldas – Luis Carlos Barreto C1, representadas respectivamente pelas posições 1, 2 e 3 no gráfico.

Observa-se que o máximo carregamento encontrado na transformação ocorreu em regime normal no final do horizonte, 2031, alcançando 91% da sua capacidade de longa duração.



**Figura 5-4 – Carregamento da transformação 500/345 kV (%/Cn)**

Diante do exposto, conclui-se que o atual transformador 500/345 kV deverá ser substituído por um com modularização de 600/720 MVA para condição normal e emergência, respectivamente, para atender satisfatoriamente as necessidades sistêmicas, considerando-se os aspectos técnicos, econômicos e regulatórios envolvidos.

## 6 REFERÊNCIAS

- [1]. Plano Decenal de Energia 2029 – Transmissão, EPE – Maio de 2019.
- [2]. Planejamento Elétrico de Médio Prazo do SIN - PAR/PEL, ONS - 2020-2024.
- [3]. EPE-DEE-RE-064/2020-rev0 - Expansão da Capacidade de Transmissão da Região Norte de Minas Gerais, EPE – Outubro de 2020.
- [4]. NT ONS 0110/2020 - Avaliação do Carregamento da Transformação 500/345 kV de Poços de Caldas, ONS – Dezembro de 2020.
- [5]. Custos Modulares da ANEEL – Junho de 2020.
- [6]. ABNT, Transformadores de potência - Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante, 2017. [Online]. Available: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=374373>.
- [7]. Submódulo 2.6 - Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos, ONS - 2020.

## 7 FICHA PET

### INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

#### Sistema Interligado da Região SUDESTE

<b>EMPREENDIMENTO:</b> <b>SE 500/345 kV POÇOS DE CALDAS (AMPLIAÇÃO/ADEQUAÇÃO)</b>	<b>UF: MG</b>
	<b>DATA DE NECESSIDADE: Dez/2022</b>
	<b>PRAZO DE EXECUÇÃO: 24 MESES</b>

**JUSTIFICATIVA:**

SUBSTITUIÇÃO POR FIM DE VIDA ÚTIL

**Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)**

1º ATF 500/345 kV, (3+1R) x 200 MVA 1Φ 40.796,52

**TOTAL DE INVESTIMENTOS PREVISTOS: 40.796,52**

**SITUAÇÃO ATUAL:****OBSERVAÇÕES:**

SUBSTITUIÇÃO POR FIM DE VIDA ÚTIL

**DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:**

[5] CUSTOS MODULARES DA ANEEL – JUNHO DE 2020.