

MOVIMENTO

SOLARLIVRE

**ASSOCIAÇÃO DO EMPREENDEDOR
E CONSUMIDOR SOLAR**

APRESENTAÇÃO ANEEL

REPRESENTANTE MSL

MÚCIO RICARDO CALEIRO ACERBI

CREA/D 49.140 | OAB/MG 67.137

Graduado em Engenharia Elétrica e Direito pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Graduado em Engenharia Civil, com 90% do curso concluído pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e conclusão pela UNIUBE – Universidade de Uberaba;

Engenheiro da CEMIG por mais de 10 anos, responsável pelo sistema de distribuição e transmissão na Superintendência Triângulo, principalmente nas áreas de planejamento elétrico, operação e manutenção dos sistemas ligados à esta Superintendência;

Possui mestrado e doutorado em engenharia elétrica pela UFU, com ênfase em sistemas elétricos de potência; especialista em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, fluxo de potência, compensação de reativos, harmônicos e planejamento de sistemas elétricos de potência;

Professor de cursos de especialização e pós graduação em sistemas elétricos de potência, compensação série, compensação de reativos, proteção, FACTS (sistemas de compensação de reativos através de tiristores), para várias concessionárias de energia elétrica brasileiras; participante de simpósios e palestrante em seminários nacionais e internacionais de energia elétrica;

Especialista em sistemas de energia solar fotovoltaica, diretor de empresa (MRCA Solar) prestadora de serviços nesta especialidade, com centenas de projetos e dezenas de sistemas solares fotovoltaicos instalados e em operação;

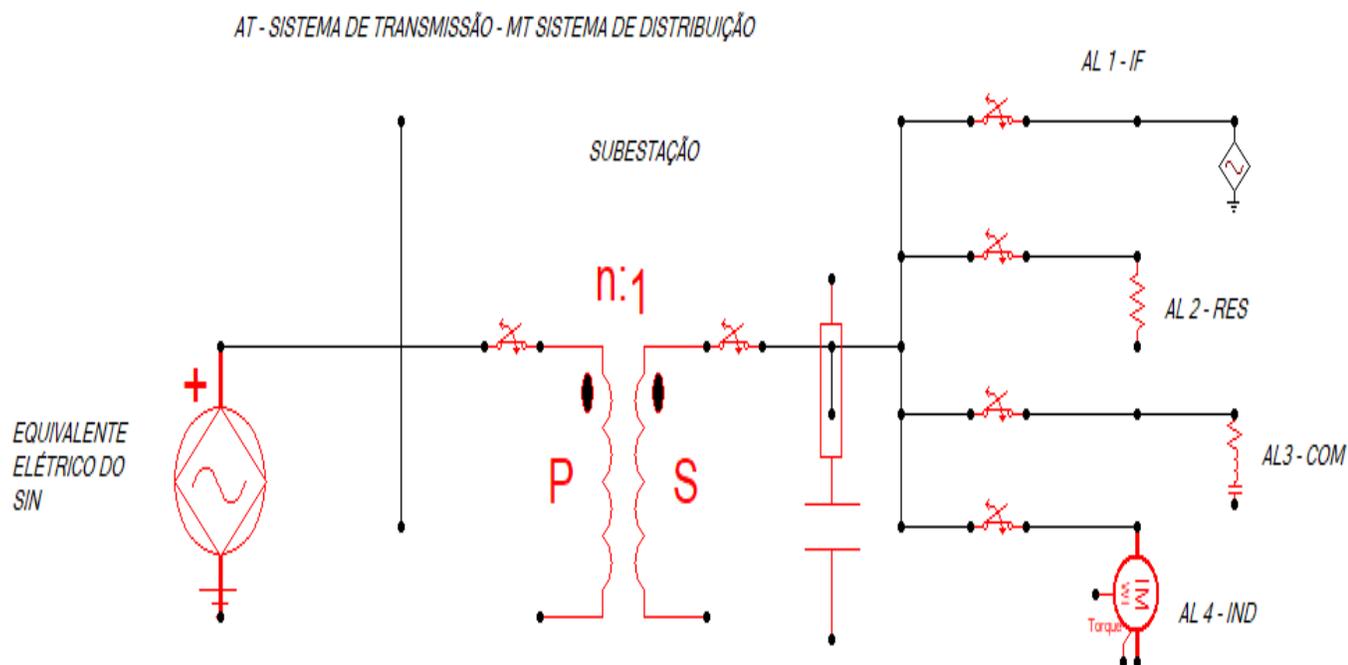
Engenheiro Civil especialista em hidráulica e saneamento, perito assistente em dezenas de ações judiciais na área de construção civil;

Advogado, com mestrado em direito civil pela PUC/SP, foi professor da Faculdade de Direito da Universidade Federal de Uberlândia por mais de 13 (treze) anos, titular da cadeira de direito constitucional por esta universidade; Diretor do escritório de advocacia Múcio Ricardo Caleiro Acerbi – Advogados Associados, atuando em milhares de processos judiciais em todas as áreas do direito (empresarial, tributário, cível, administrativo, trabalhista e criminal).



SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA | CONCEITOS

- Modelo elétrico simplificado de um sistema de distribuição interligado a um sistema de transmissão.



- 1 – Transformadores de Subestações (AT/MT)
- 2 – Transformadores de Distribuição (MT/BT)
- 3 – Reguladores de Tensão
- 4 – Disjuntores / Religadores
- 5 – Capacitores
- 6 – Reatores
- 7 – Motores e Geradores elétricos
- 8 – Inversores (CC/CA)
- 9 – Cargas Elétricas (residenciais / comerciais / industriais / rurais): **P constante; Z constante e I constante.**
- 10 – Cargas Elétricas especiais: Geradoras de desequilíbrios; distorções harmônicas; etc.

DEFINIÇÕES | “FLUXO REVERSO”

- Pela ANEEL: Não conceitua, apenas dispõe em norma em seu Art. 73 da REN 1.059/23 sobre a inversão do fluxo de potência. Contudo, pode-se inferir que se trata de um termo fictício para se referir a correntes elétricas que estão sendo injetadas no sentido da distribuição para a transmissão, que seriam impróprias e devem ser evitadas”;
- Pelas Concessionárias: Usado indistinta e indevidamente pelas distribuidoras de energia elétrica no país com a finalidade de barrar os pedidos de conexão de micro e minigeração distribuídas. Este problema somente passou a existir após 07 de fevereiro de 2023, com a edição da REN 1.059/23, já que, desde a portaria 482/12, nunca foram reportados fluxos reversos na distribuição.
- Em Engenharia Elétrica: Conceito físico insubsistente. Como o sistema elétrico nacional é interligado (sistemas isolados são raras exceções), sendo as tensões e correntes transmitidas de forma alternada em 60 Hz, o conceito de fluxo reverso não possui significado físico, pois os sentidos das correntes são convencionais. O que se convencionou é o sentido e se mede a magnitude destas correntes.

“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

- Em pauta por ocasião da REN 1.059/23;
- Não se encontra nenhuma referência nas normas anteriores a Lei 14.300/22 e REN 1.059/23.
- As concessionárias sempre tiveram autonomia de travar ou negar acesso às redes públicas concedidas, principalmente quando as cargas provocassem **DISTÚRBIOS**;
- Após a REN 482/12, marco no setor, por 11 anos de sua existência não se tem notícia de reprovos causadas por inversão de fluxo ou similares;
- A REN 1.059/23 limitou drasticamente as solicitações de conexões de micro e mini geração em todo o país, sem respaldo técnico suficiente por parte das concessionárias.



“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

- Inversão de fluxo de potência ou fluxo reverso não existe no sistema elétrico;
- O que controla todo o sistema interligado nacional é o **FLUXO DE POTÊNCIA**, apenas, termo correto que rege e regula todo o sistema elétrico nacional;
- Os geradores interligados trabalham em conjunto gerando potência ativa e/ou potência reativa;
- As correntes fluem dos geradores para os barramentos das subestações elevadoras que estão interligados por linhas de transmissão de alta tensão, levando correntes para todos os sentidos, de acordo com o fluxo de potência, levando energia elétrica para as subestações das distribuidoras de energia elétrica;
- a partir destas subestações, os alimentadores de distribuição, após o abaixamento das tensões de transmissão para tensões de distribuição, fornecem energia elétrica para os milhões de consumidores espalhados pelo país em tensões próprias.



“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

- Os micro e minigeradores de energia elétrica, se inserem no contexto operativo nacional, injetando corrente ao sistema elétrico, conduzido e controlado pelo **FLUXO DE POTÊNCIA**;
- Todo barramento é fonte de entrada e saída de corrente elétrica;
- O Operador Nacional do Sistema define a barra de referência (V (tensão de referência) e Θ - ângulo de potência igual a 0°);
- A partir desta barra de referência nacional, o operador do sistema ONS impõe limites operativos para todas as barras, barras PV e barras PQ, tanto limites internos quanto externos, desde que conectados aos elos de potência;
- Assim, o sentido de corrente nas barras **NÃO IMPORTA** para o complexo operativo nacional.

“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

- Se “**fluxo reverso**” (corrente elétrica de sinal negativo entrando nas barras das subestações abaixadoras das distribuidoras) resultasse em problemas, da mesma forma que as distribuidoras estão negando indistintamente o acesso, os grandes geradores de energia solar instalados e em instalação sofreriam as mesmas restrições;
- Não sofrem restrições porque o que manda é o **FLUXO DE POTÊNCIA**. Quem determina o sentido das correntes são as barras de referência e quem determina o sentido do fluxo de potência são as variáveis de estado;
- Os circuitos elétricos determinam, no domínio do tempo, o sentido das correntes e o sentido do fluxo de carga.

“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

- Pode-se afirmar que, eletricamente, quem define o quão sólido é um sistema sob o ponto de vista de distúrbios é o nível de curto circuito no ponto de conexão do distúrbio;
- Se um sistema elétrico é **FORTE**, significa que o nível de curto circuito é **ALTO** e o sistema é pouco sujeito às interferências como sobretensões, desequilíbrios, harmônicos (interferências internas) e descargas atmosféricas (interferência externa), etc.
- Se o sistema elétrico é **FRACO**, significa dizer que o nível de curto circuito é **BAIXO** e o sistema é bastante sujeito às interferências internas e externas;
- O **FLUXO DE POTÊNCIA** rege o controle das tensões e correntes do sistema elétrico como um todo e o **NÍVEL DE CURTO CIRCUITO** rege o quão sujeito aos **DISTÚRBIOS** está este mesmo sistema elétrico.

“FLUXO REVERSO” | FLUXO DE POTÊNCIA DAS REDES ELÉTRICAS

Desta forma,

- “Fluxo Reverso” NÃO causa sobretensões;
- “Fluxo Reverso” NÃO causa desequilíbrios nas redes elétricas;
- “Fluxo Reverso” NÃO diminui a vida útil de qualquer equipamento da concessionária;
- “Fluxo Reverso” NÃO causa interrupção de fornecimento de energia elétrica!

“FLUXO REVERSO” | LEI 13.874/19 Art. 4º

“Art. 4º É dever da administração pública e das demais entidades que se vinculam a esta Lei, no exercício de regulamentação de norma pública pertencente à legislação sobre a qual esta Lei versa, exceto se em estrito cumprimento a previsão explícita em lei, evitar o abuso do poder regulatório de maneira a, indevidamente:

I - criar reserva de mercado ao favorecer, na regulação, grupo econômico, ou profissional, em prejuízo dos demais concorrentes;

II - redigir enunciados que impeçam a entrada de novos competidores nacionais ou estrangeiros no mercado;

III - exigir especificação técnica que não seja necessária para atingir o fim desejado;

IV - redigir enunciados que impeçam ou retardem a inovação e a adoção de novas tecnologias, processos ou modelos de negócios, ressalvadas as situações consideradas em regulamento como de alto risco;

(...)”

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

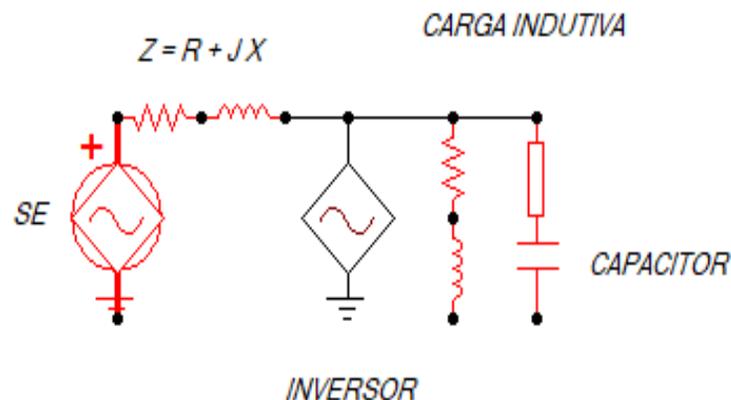
- Apresentamos simulações realizadas com EMTP - ELETROMAGNETIC TRANSIENTS PROGRAM VERSÃO ATPDRAW - ALTERNATIVE TRANSIENTS PROGRAM VERSÃO 7.3.
- Estas Simulações em regime transitório foram feitas para analisar o comportamento da rede simulada em face de curto-circuito e descargas atmosféricas.
- Também apresentamos simulações em regime permanente para análise do sistema elétrico frente a injeção de corrente do inversor solar.

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

- 3.000 módulos fotovoltaicos de 545W cada. Potência total das placas: 1.635 kWp. 10 inversores de 110 kW cada. Potência total de 1.100kW;
- Tensão nominal do usuário em média tensão: 23.100V / 23,1kV;
- Transformador a ser instalado. Tensão primária de 23.100V e tensão secundária de 220V/380V;
- Corrente de carga média no consumidor: Sem carga na instalação, somente geração/injeção.
- Tensão na linha de transmissão que atende o alimentador: 69 kV.
- Resposta da concessionária: aumento da inversão de fluxo.
- Solução: LT de 69 kV – custo estimado – R\$ 50 Milhões de Reais.
- Recurso do consumidor: negado.

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

RDA - REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA - LINHA DE TRANSMISSÃO CURTA



- Foram feitas simulações computacionais em regime transitório (descarga atmosférica e curto-circuito) no barramento de MT (23,1 kV);
- Subestação de 50 MVA, com dois transformadores de 25 MVA com proteções seletivas de correntes e sobretensões;
- O impacto dos transitórios oriundos de descargas atmosféricas e/ou curtos-circuitos fazem parte do contexto operativo.

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

- A corrente nominal do disjuntor de proteção não foi fornecida. Estimou-se pelo nível de tensão (23,1 kV) que estaria em torno de **200 A**. A capacidade de carga deste disjuntor estaria na ordem de **8,0 MW**;
- Alimentador em carga máxima com uma demanda coincidente de **1,0 MW (às 22:00h)** e com carga “mínima” de **-1,3 MW**, conforme enviado pela concessionária. Apenas **16,00 %** de sua capacidade nominal;
- À disposição **84%** da capacidade do alimentador em receber potência inversa, sem qualquer prejuízo ao sistema;
- Potência de curto-circuito na ordem de **266,88 MVA**, com ângulo de potência de **87,57°**.

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

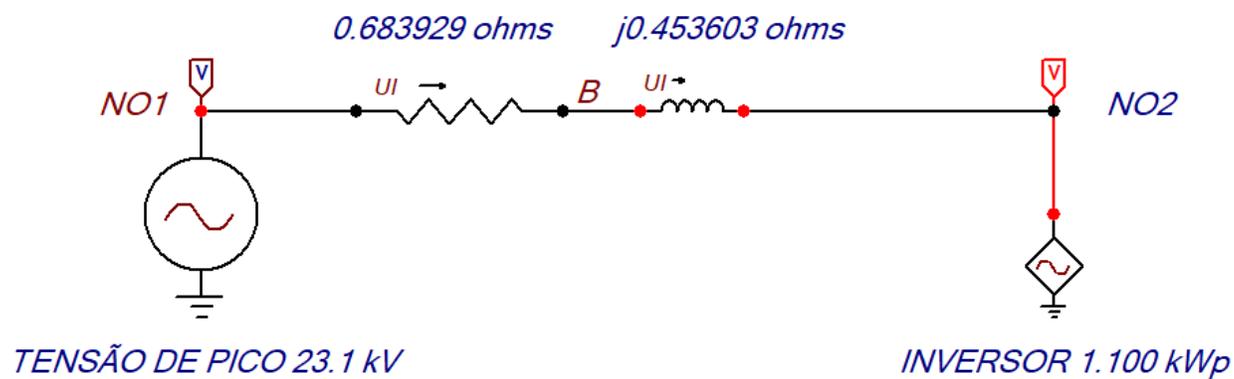
A seguir, fez-se uma simulação computacional em regime permanente no **piores cenário possível**, da seguinte maneira:

1. Somente a injeção de corrente ativa no ponto de conexão do consumidor com a MT (média tensão) da concessionária referida ao primário, no valor de 1.100 kW, ou 39,69 A (corrente de pico);
2. Tensão de pico fase-terra (18.860 V) como tensão de referência no barramento, pois o barramento da SE é regulada por regulador de tensão e banco de capacitor chaveado, para fins de controle de tensão;
3. Sequência positiva do alimentador do barramento da SE até o ponto de conexão, utilizando os seguintes dados:
 $Z1 = 0,683929 + j 0,453603 \Omega$, fornecidos pela concessionária;
4. Não foi considerada nenhuma carga distribuída ao longo do alimentador por recusa da concessionária em fornecer estas localizações. Apesar disto, correu-se os trechos da SE até o ponto de conexão e foi levantado que possuía pelo menos 15 transformadores de 75 kVA, fato que contribuiria para a diminuição da tensão em regime permanente por ocasião da injeção de 1.100 kW pelo consumidor.

REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

Figura 1: Desenho elétrico esquemático utilizado pelo ATPDRAW.

*PRIMEIRA SIMULAÇÃO RDA 23.1 kV
(inversor injetando potência máxima - sem carga - 1.100 kW)*



REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | ESTUDO DO CASO

Figura 2: Tensão Fase – Terra (pico) no barramento da SE – na saída do alimentador.

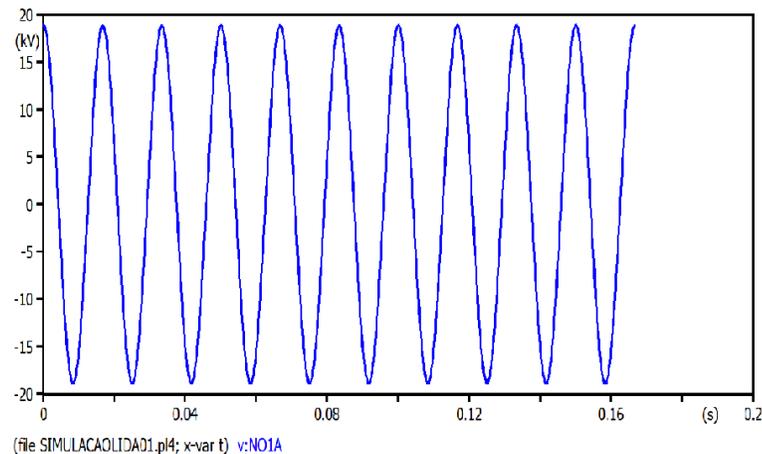


Figura 3: Tensão Fase – Terra (pico) no ponto de conexão do consumidor localizado a 2.5 km de distância.

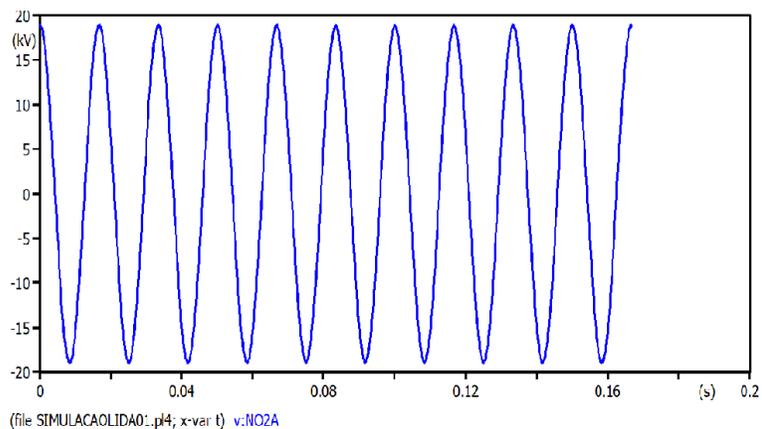
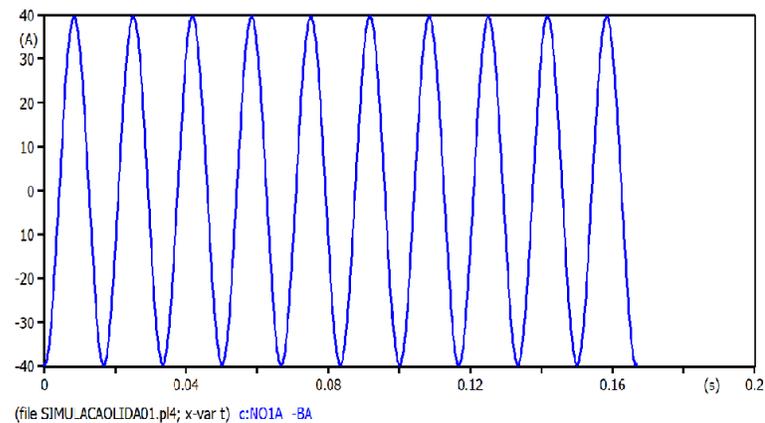


Figura 4: Corrente elétrica (pico) em Ampère no alimentador da SE quando o inversor estiver a plena geração.



REPROVAÇÃO DE UM PEDIDO DE CONEXÃO | CONCLUSÕES

1. A elevação de tensão no barramento foi praticamente nula, levando-se em conta que a impedância equivalente (Z_{eq}) é de 0,8207, com ângulo de $33.55^\circ \Omega$. Ou seja, a elevação de tensão provocada pela injeção de potência seria da ordem de 23 V, desprezível para o nível de tensão da MT (23,1 kV);
2. A concessionária ignorou os aspectos técnicos do distúrbio que o consumidor poderia provocar no sistema elétrico da distribuidora, em descumprimento do art. 73, I – da REN 1.000/21, priorizando a análise do §1º do citado artigo e que trata do “**fluxo reverso**”;
3. A concessionária evitou abordar de maneira técnica que o alimentador, às 12:00h, já estava recebendo a injeção de 1.300 kW de potência. Tal informação só foi repassada ao consumidor/recorrente em 27/10/2023, após solicitação do consultor;
4. Uma linha de transmissão do porte pretendido pela concessionária ofertaria uma exploração que facilmente poderia chegar a 50 MVA, sendo que a injeção de potência pretendida pelo consumidor é de 1,10 MWp. Os custos envolvidos estariam na ordem de **R\$ 50.000.000,00**, a cargo do consumidor, sendo que aproveitaria somente **2,2%** da capacidade da linha de transmissão;
5. A negação da conexão em rede (pública) de distribuição só pode estar atrelada a justo motivo, com demonstração técnica de que a conexão possa causar distúrbio na rede elétrica (art. 73, I, REN 1000/21 da ANEEL). Não havendo tal demonstração (pelo contrário, foi demonstrada a inexistência de eventual distúrbio), a conexão deve ser autorizada. Negar a homologação pretendida ofende as normas reguladoras e constitui ato ilícito, ante o dano causado ao consumidor.

DESCUMPRIMENTO | ART 73 REN 1.000/2021

ART. 73, I – REN 1.000/21 - RESOLVERIA TODAS AS QUESTÕES:

- *Art. 73. A distribuidora deve, se necessário, realizar estudos para:*
- *I - Avaliação do grau de **perturbação** das instalações do consumidor e demais usuários em seu sistema de distribuição; (grifo nosso).*
- *A concessionária descumpriu o parágrafo 1º, inciso I, do art. 73, ao não propor que o alimentador fosse reconfigurado a fim de que pudesse receber cargas de outros alimentadores vizinhos, já que está utilizando somente **16%** de sua capacidade nominal. Simultaneamente, foi descumprida sua própria disposição normativa, contida no item 6.29, I, *verbis*:*

6.29. – Conforme estabelecido no § 1º do Art. 73, da REN nº 1000/2021 da ANEEL, caso a conexão nova ou o aumento de potência injetada de microgeração ou minigeração distribuída implique inversão do fluxo de potência no posto de transformação da distribuidora ou no disjuntor do alimentador, a distribuidora deve realizar estudos para identificar as opções viáveis que eliminem tal inversão, a exemplo de:

- ***I. reconfiguração dos circuitos e remanejamento da carga;***
- ***II. definição de outro circuito elétrico para conexão da geração distribuída;***

...

DESCUMPRIMENTO | ART 73 REN 1.000/2021

- As informações são facilmente verificáveis ao se percorrer os alimentadores que saem da Subestação, já que não é crível que se instale uma subestação de 50 MVA para atender cargas com o mesmo nível de carga do alimentador em estudo;
- Isto foi feito pelos técnicos do integrador, que observaram a facilidade do alimentador que atende o consumidor recorrente em receber cargas de outros alimentadores, visando anular o “fluxo reverso” atual, a um custo ínfimo de abrir e fechar chaves primárias de alimentação;
- Assim, fica constatado que a concessionária, além de descumprir os requisitos legais (Lei 14.300/22) e normativos (art. 73, I, REN 1.000/21), também descumpriu os próprios requisitos de sua norma, especificamente o **item 6.29, I.**



REPROVAÇÃO POR INVERSÃO DE FLUXO | CASOS DIVERSOS

A cada dia, buscam auxílio do MSL dezenas de integradores cujos projetos foram “reprovados” por inversão de fluxo, travando o acesso de milhares de consumidores aos benefícios da geração de energia solar. Coloca-se reprovados entre “aspas”, pois os pareceres de acesso vem com alternativas inviáveis, seja para a injeção autorizada das 19:00h às 05:00h, ou, orçamentos de obras até 100x o valor investido pelo consumidor no sistema.

Estes são alguns exemplos mais recentes recebidos:

1. UFV com 3 kWp, Cidade de Janaúba/MG, CEMIG D = “Reprovado” por inversão de fluxo;
2. UFV com 3 kWp, Montes Claros/MG, CEMIG D = “Reprovado” por inversão de fluxo;
3. UFV com 10 kWp, Jundiá/AL, EQUATORIAL ENERGIA = “Reprovado” por inversão de fluxo;
4. UFV com 30 kWp, Sacramento/MG, CEMIG D = “Reprovado” por inversão de fluxo;
5. UFV com 36 kWp, Araguari/MG, CEMIG D = “Reprovado” por inversão de fluxo;
6. UFV com 45 kWp, Nova Ponte/MG, CEMIG D = “Reprovado” por inversão de fluxo;
7. UFV com 75 kWp, Adamantina/SP, ENERGISA = “Reprovado” por inversão de fluxo;

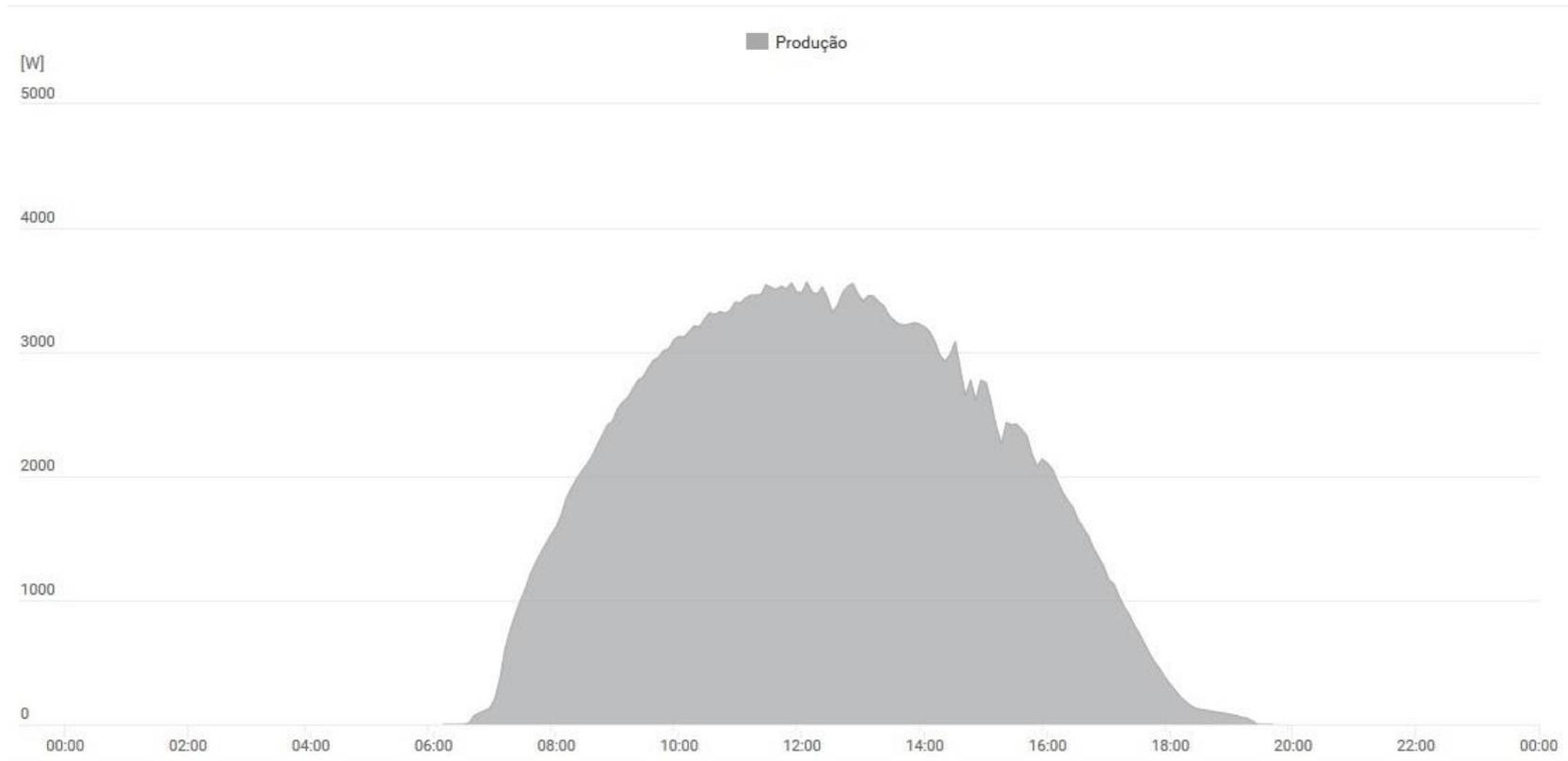
E muitos outros...



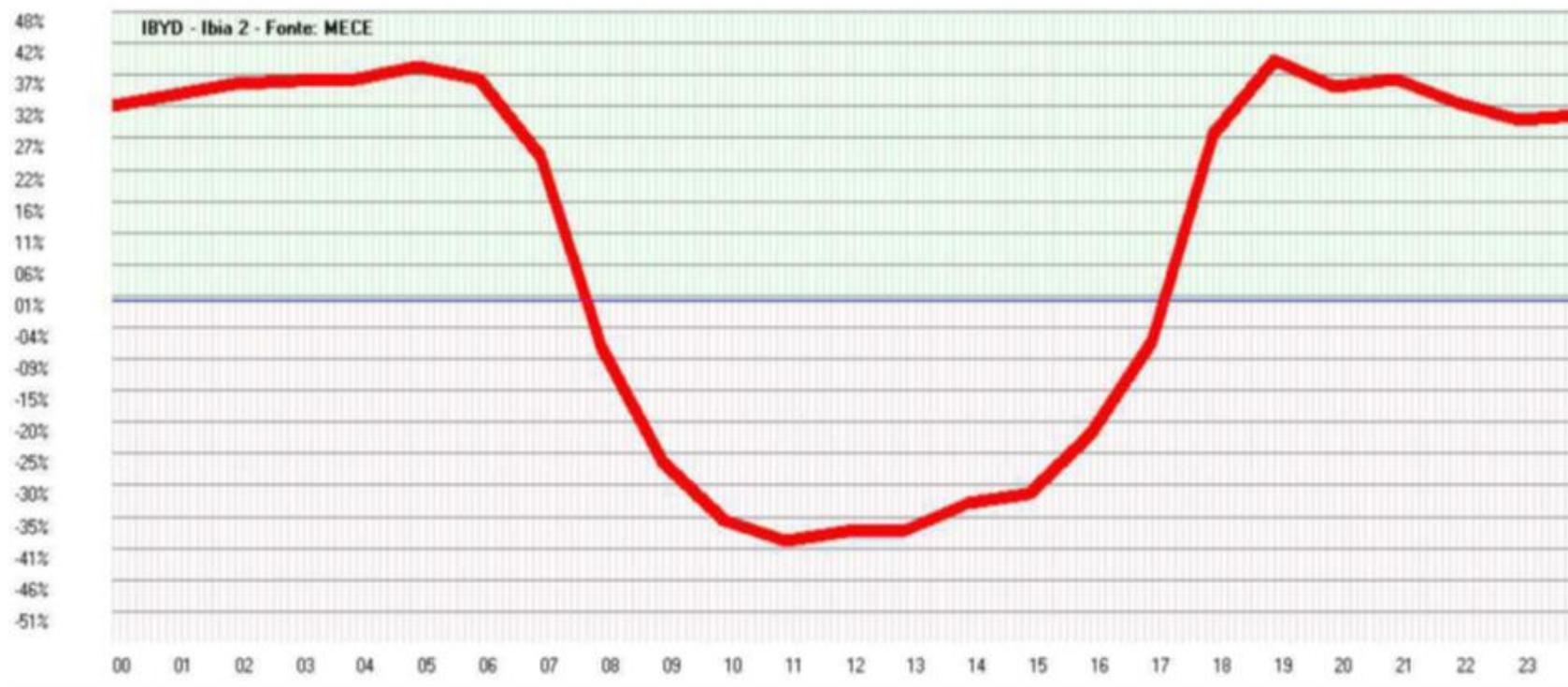
FINALIZANDO | SUGESTÕES MOVIMENTO SOLAR LIVRE

1. Após a REN 1.059/23, o termo inversão de fluxo de potência vem sendo usado indistinta e indevidamente pelas distribuidoras de energia elétrica no país, barrando pedidos de conexão de micro e minigeração distribuídas;
2. A redação dada ao Art. 73, limitou drasticamente as solicitações de conexões de micro e mini geração, permitindo as concessionárias bloquearem o acesso a rede sem respaldo técnico suficiente;
3. O setor de energia solar fotovoltaica gera milhares de empregos e investimentos na casa dos bilhões de reais, hoje em risco pelo abuso e má interpretação da norma;
4. A revisão da norma é necessária para que haja uma mudança significativa na forma que as concessionárias tem analisado e “reprovado” os projetos de usinas fotovoltaicos e garantir que o setor continue a prosperar, gerando renda, empregos e economia para milhões de pessoas em todo o país.

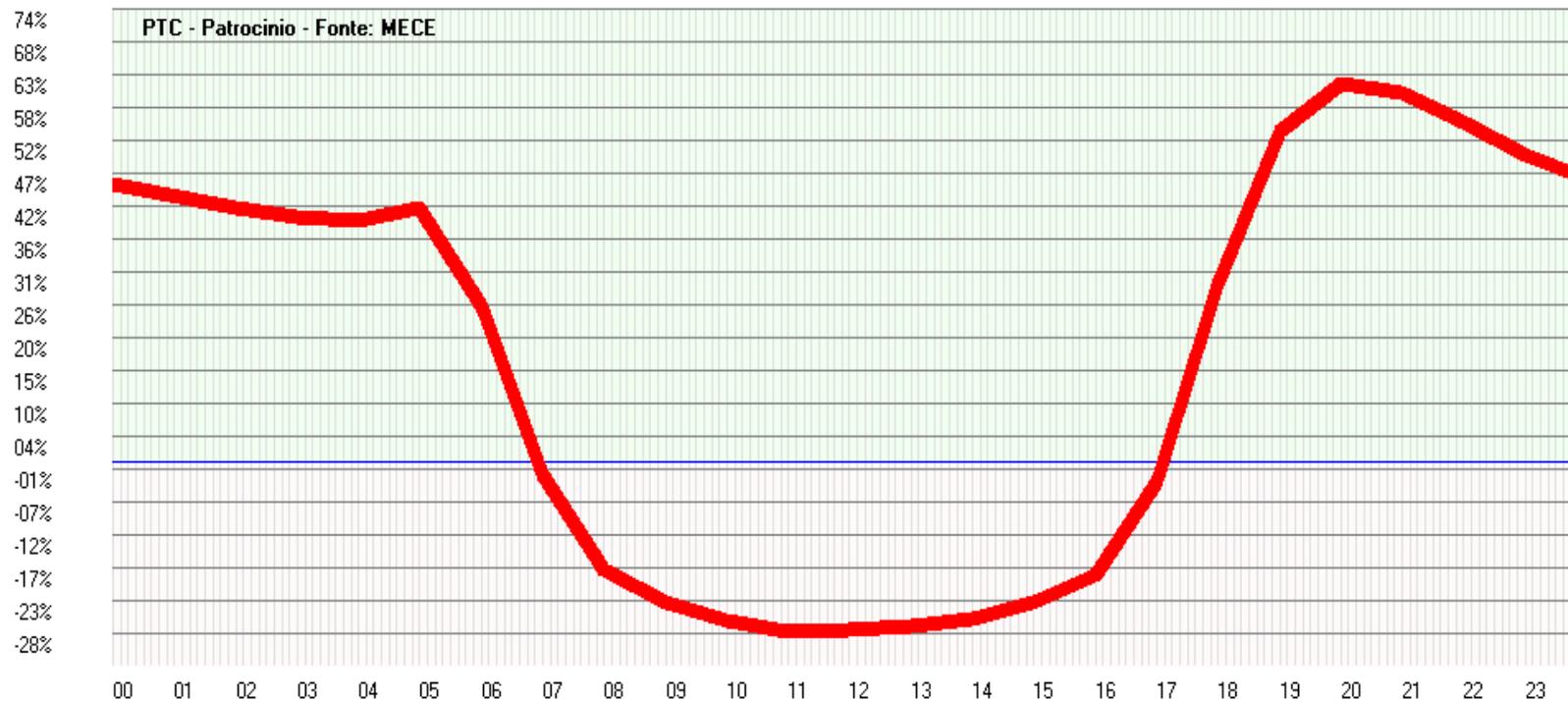
FINALIZANDO | CURVA DE GERAÇÃO SISTEMA FOTOVOLTAICO



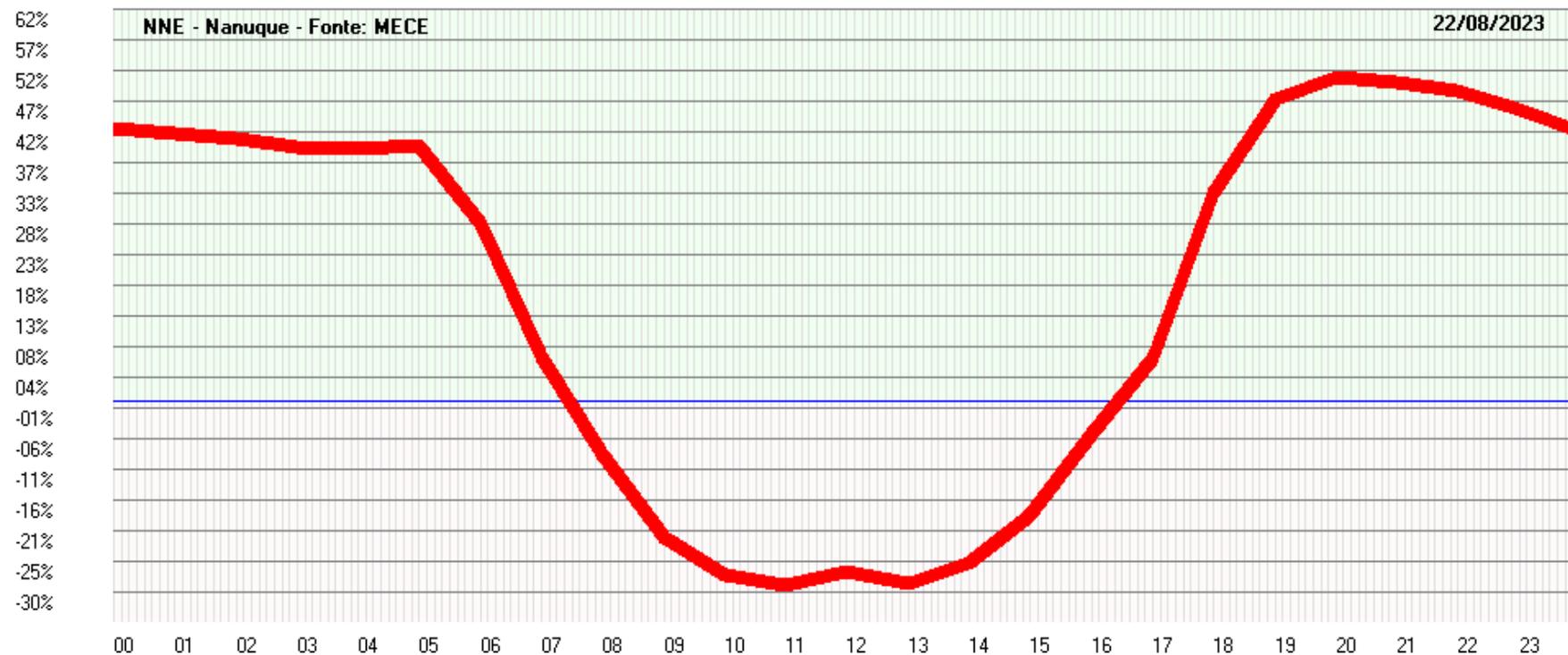
FINALIZANDO | “CURVA DO PATO” CEMIG



FINALIZANDO | “CURVA DO PATO” CEMIG



FINALIZANDO | “CURVA DO PATO” CEMIG



BIBLIOGRAFIA - BÁSICA

- CARSON, J. R. Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return. Bell System Technical Journal, v. 5, 1926, n. 539– 554.
- CENTRAL STATION ENGINEERS OF THE WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION. Electrical transmission and distribution reference book. 4th edition. East Pittsburgh, Pennsylvania, 1984. 832 p.
- DOMMEL, H. W. Overhead Line Parameters from Handbook Formulas and Computer Programs, IEEE Transactions on PAS, v. PAS-104, n. 2, February 1985, 366–372.
- ELGERD O. I. Electric energy systems: an introduction. 2th edition. McGraw-Hill, NY, 1998. 533 p.
- EPRI. AC transmission line reference book – 200 kV and Above. 3th edition. Palo Alto, CA, 2005. 1069 p.
- FUCHS, R. D. Transmissão de energia elétrica. v. 1. 3. ed. Uberlândia: EDUFU, 2015. 244 p. Transmissão de energia elétrica. v. 2. 3. ed. Uberlândia: EDUFU, 2015. 550 p.
- GALLOWAY, R. H. et al. Calculation of electrical parameters for short and long polyphase transmission lines. Proceedings IEE, v. 111, December 1964, 2051–2059.
- GLOVER, J. D.; SARMA, M. S.; OVERBYE, T. J. Power system analysis and design. 6th edition. Thomson Learning, 2016. 818 p.
- GONEN, T. Electrical power transmission system engineering: analysis and design. 3th ed. New York: CRC Press, 2014. 719 p.
- GRAINGER, J. J.; STEVENSON JR., W. D. Power system analysis. New York: Mc Graw-Hill Ed., 1994. 787 p.
- GROSS, C. A. Power systems analysis. New York: Wiley, 1982. 593p.
- HAGINOMORI, E.; ARAI, T. K. J.; IKEDA, H. Power system transient analysis: theory and practice using simulation program (ATP-EMTP), UK, John Wiley & Sons, Ltd., 2016. 277 p. Leuven EMTP Center. ATP - Alternative Transient Program - Rule Book, Belgium: Herverlee, 1987.
- STEVENSON JR., W. D. Elements of power system analysis. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1982. 436 p. Engenharia de Sistemas de Potência: transmissão de energia elétrica em corrente Alternada; © 2019 by Ailson P. de Moura, Adriano Aron F. de Moura, Ednardo P. da Rocha
- Fluxo Reverso na Geração Distribuída: Contradições e falta de transparência das concessionárias.
- Fernando de Souza Vieira (Engenheiro Eletricista) e Mateus de Souza Vieira (Economista) Curvelo MG 21 de agosto de 2023.

Faça parte do grupo de notícias

HEWERTON MARTINS
PRESIDENTE
@hewertonmartins

MÚCIO ACERBI
JURÍDICO MSL



Seja um membro Associado
cadastre-se www.movimentosolarlivre.com.br