

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

## 1. Objetivo

O presente Informe Técnico apresenta uma metodologia para estabelecimento da contribuição de potência proveniente do acréscimo de potência instalada de usinas hidrelétricas (UHE) existentes despachadas centralizadamente e participantes do produto "Potência" de um "Leilão de Reserva de Capacidade - LRCAP", cujas diretrizes serão publicadas em Portaria do Ministério de Minas e Energia (MME).

Para este método, há que se considerar o parâmetro denominado Fator de Disponibilidade de Capacidade "FDispCap", parâmetro adimensional estabelecido pela EPE em termos do percentual de potência disponível (MW) em relação à ampliação de potência instalada (MW). Neste momento, o uso do FDispCap é para fins exclusivos de estimativa da quantidade máxima de potência que pode ser comercializada pelas hidrelétricas no LRCAP, considerando as características das UHE e a segurança de suprimento do Sistema Interligado Nacional (SIN).

## 2. Introdução

Nos estudos de expansão, a avaliação das condições de atendimento da demanda máxima instantânea é realizada com a ferramenta Balanço de Potência<sup>1</sup> (BP), que utiliza os resultados da simulação energética efetuada com o modelo NEWAVE. A partir do PDE 2032, essa avaliação passou a ser feita considerando a carga líquida horária do SIN, obtida a partir de conjunção de cenários probabilísticos, em escala horária, de carga bruta e geração das fontes renováveis não controláveis. Como resultado, é possível obter os montantes de potência das tecnologias controláveis necessários nos momentos em que o sistema mais requisita.

Ao se utilizar este conjunto de ferramentas e metodologias para auxiliar na definição dos montantes necessários de capacidade adicional de potência ao sistema, mantém-se a compatibilidade com as análises energéticas efetuadas na EPE, como, por exemplo, no cálculo de requisitos de energia. Os requisitos de energia e potência do SIN são publicados periodicamente pela EPE, como os resultados apresentados em EPE (2022) e nas publicações do Plano Decenal de Expansão (PDE).

Os aspectos teóricos considerados para análises de atendimento ao requisito de capacidade encontram-se descritos detalhadamente na publicação "Metodologia de Análise para o Atendimento à Demanda Máxima de Potência e Requisito de Capacidade", elaborada pela EPE em 2021. No documento indicado, está apresentada a metodologia de consideração de potência disponível relativa a diferentes tecnologias de geração para atendimento à ponta.

O conceito de "ponta", descrito neste documento, se refere ao momento de maior carga líquida (carga bruta menos geração das usinas não despachadas e da micro e minigeração distribuída). As premissas e os aspectos metodológicos que balizam a construção dos cenários de carga líquida utilizados nos estudos de planejamento da EPE podem ser consultados na nota técnica EPE-DEE-RE-037/2022 "Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Estudos Complementares: Sensibilidades *what if*".

<sup>1</sup> A Ferramenta de Balanço de Potência, está disponível em código aberto no site da EPE e pode ser consultada através do link <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ferramenta-de-balanco-de-potencia>>

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

### 3. Potência Disponível de Hidrelétricas

A "Potência Disponível de Hidrelétricas" é definida como a quantidade de potência que um empreendimento hidrelétrico pode agregar ao sistema no momento de demanda máxima, considerando a disponibilidade do recurso hídrico e as características operativas desta tecnologia.

Nos estudos de expansão, a potência disponível de hidrelétricas é calculada com a ferramenta Balanço de Potência (BP), que utiliza os resultados da simulação energética realizada com o modelo NEWAVE, considerando diferentes cenários hidrológicos.

A Potência Disponível de uma hidrelétrica considerando um cenário hidrológico de um determinado mês é definida pelo menor valor entre a contribuição de geração na ponta e a máxima disponibilidade de potência, conforme apresentado na equação (1).

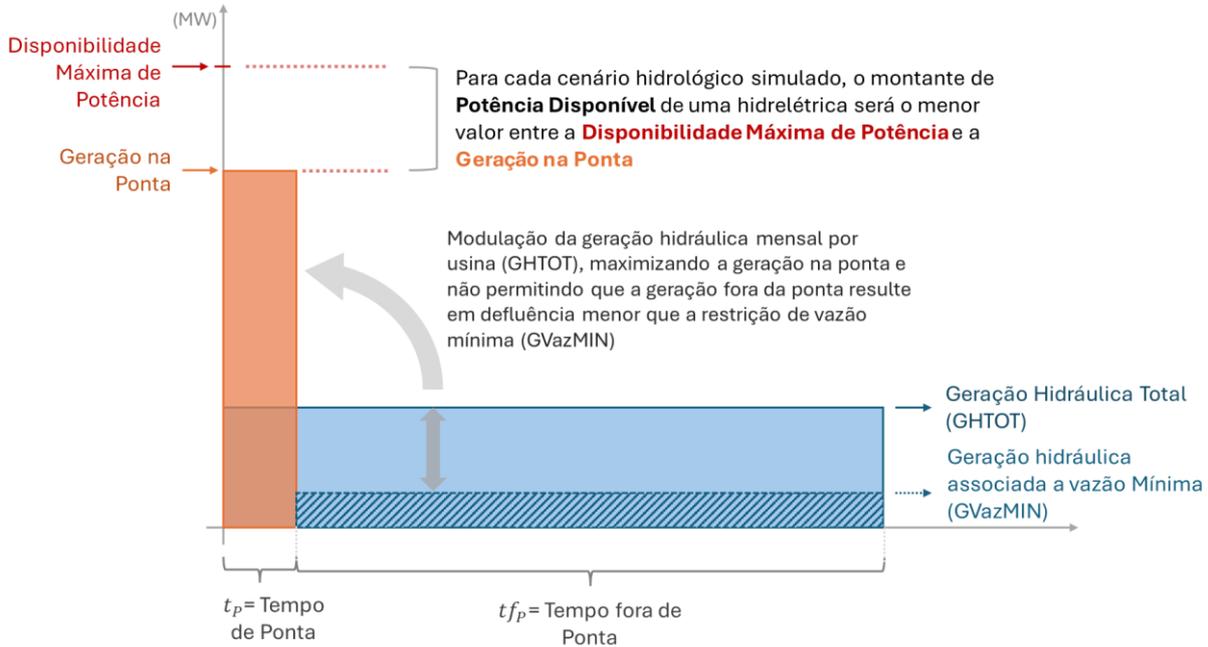
$$PDisp_{usina,mês,cen} = \text{MIN} [Geração\ Ponta_{usina,mês,cen}, Disponibilidade\ Máxima\ Potência_{usina,mês,cen}] \quad (1)$$

Onde,

- $PDisp_{usina,mês,cen}$  é a potência disponível da hidrelétrica para um dado mês e cenário hidrológico;
- $Geração\ Ponta_{usina,mês,cen}$  é a capacidade de contribuição da usina na ponta em um dado mês e cenário hidrológico;
- $Disponibilidade\ Máxima\ Potência_{usina,mês,cen}$  é a potência disponível em um dado mês e cenário hidrológico, limitada à potência instalada da UHE.

Para o cálculo da geração hidrelétrica na ponta, a estimativa leva em consideração a geração média mensal, as restrições de vazão mínima e o tempo de atendimento à ponta. Conforme ilustrado na Figura 1, a metodologia baseia-se na modulação da geração hidrelétrica mensal, garantindo o atendimento à restrição de vazão mínima, de forma a obter potência disponível para atender a demanda líquida máxima. Este procedimento assegura o acoplamento entre as avaliações de atendimento à demanda de potência e demanda média mensal, mantendo as metas de armazenamento e de geração hidráulica estabelecidas pelo modelo de otimização.

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	



**Figura 1 - Metodologia de Cálculo da Potência Disponível de uma Usina Hidrelétrica**

A geração na ponta resultante da modulação da geração mensal é obtida através da equação (2).

$$Geração\ Ponta_{usina,mês,cen} = \frac{(GHTOT_{usina,mês,cen} \times t_{mês}) - (GVazMIN_{usina,mês,cen} \times t_{mês}^{fp})}{t_{mês}^p} \quad (2)$$

Onde,

- $Geração\ Ponta_{usina,mês,cen}$  é a capacidade de geração na ponta de uma usina hidrelétrica para um dado mês e cenário hidrológico;
- $GHTOT_{usina,mês,cen}$  é a geração hidráulica da usina para um mês e cenário específico, obtida pelo rateio da geração total do reservatório equivalente no qual a usina está localizada. A geração total de cada reservatório equivalente é obtida através de simulação energética, pelo modelo NEWAVE;
- $t_{mês}$  é a duração do mês, em horas. As simulações energéticas do modelo NEWAVE consideram que todos os meses possuem duração de 730,5 horas;
- $GVazMIN_{usina,mês,cen}$  é a geração associada às restrições de defluência mínima mensal por usina, considerando seu valor de produtividade específica e a altura de queda líquida estimada para cada cenário hidrológico;
- $t_{mês}^p$  é o tempo correspondente às horas de ponta em um mês. Para os estudos do horizonte decenal são consideradas 10 horas de tempo de ponta;

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

- $t_{mês}^{fp}$  é o tempo correspondente às horas do mês fora dos momentos de demanda de ponta.

O cálculo da disponibilidade máxima de potência de usinas hidrelétricas, em termos gerais, considera a altura de queda líquida, os parâmetros dos reservatórios e as taxas equivalentes de indisponibilidade forçada (TEIF) e de indisponibilidade programada (IP), conforme equação (3).

$$\begin{aligned}
 & \text{Disponibilidade Máxima Potência}_{usina,mês,cen} \\
 & = P_{inst_{usina}} \times (1 - TEIF_{usina}) \times (1 - IP_{usina}) \times \left( \frac{h_{usina,mês,cen}}{hef_{usina}} \right)^\beta \quad (3)
 \end{aligned}$$

Onde,

- $Disponibilidade Máxima Potência_{usina,mês,cen}$  é a potência disponível por altura de queda determinada no mês e para o cenário hidrológico considerado;
- $P_{inst_{usina}}$  é a potência instalada da usina hidrelétrica;
- $TEIF_{usina}$  é a taxa de indisponibilidade forçada da usina hidrelétrica;
- $IP_{usina}$  é o índice de indisponibilidade programado da usina hidrelétrica;
- $h_{usina,mês,cen}$  é a altura de queda líquida da usina num dado mês e cenário hidrológico, obtida conforme EPE (2021);
- $hef_{usina}$  é a altura de queda efetiva das turbinas da usina hidrelétrica;
- $\beta$  é uma constante que varia com o tipo da turbina, podendo assumir os seguintes valores:
  - 1,5 se  $h_{usina,mês,cen} < hef_{usina}$  para usina com turbinas Francis ou Pelton;
  - 1,2 se  $h_{usina,mês,cen} < hef_{usina}$  para usina com turbinas Kaplan ou Bulbo;
  - 0 se  $h_{usina,mês,cen} > hef_{usina}$ .

No caso de usinas a fio d'água, não se considera a variação da altura de queda e, portanto, não são computadas as perdas de potência por deplecionamento do reservatório. Assim, a potência máxima que as unidades geradoras podem produzir, neste caso, será igual à potência efetiva da usina.

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

#### 4. Fator de Disponibilidade de Capacidade

O “Fator de Disponibilidade de Capacidade - FDispCap” é um parâmetro adimensional estabelecido pela EPE, que é a razão entre a potência disponível (MW) e a potência instalada (MW), para fins exclusivos de estimativa da máxima quantidade de potência que pode ser comercializada pelas hidrelétricas no LRCAP.

Para a estimativa do FDispCap é utilizada uma configuração de referência do sistema representada nos modelos energéticos, denominada “Caso Base”. Elaborado com horizonte decenal, este caso caracteriza-se pela avaliação da operação de uma matriz composta pelas usinas existentes e as usinas já contratadas, sem considerar qualquer expansão de caráter indicativo.

Cabe ressaltar que este mesmo conjunto de informações é utilizado para o cálculo dos requisitos de energia e potência do sistema, que indicam a necessidade de expansão dentro deste horizonte de estudo. O requisito de potência visa ao atendimento da máxima demanda líquida do sistema em curta duração, sinalizando para o montante de oferta despachável que deve estar disponível quando solicitado a atender a esse serviço. Para o adequado atendimento a todas as necessidades sistêmicas, é fundamental que o Sistema Interligado Nacional (SIN) possua oferta suficiente para atender às dimensões de energia e potência, de modo complementar e não substituível.

Destaca-se que o Caso Base é simulado na ferramenta Balanço de Potência utilizando 2.000 cenários hidrológicos sintéticos, de modo que se obtenha uma variabilidade significativa de possibilidades de disponibilidade do recurso, incluindo cenários de maior criticidade de suprimento.

##### *i. Cenários de maior criticidade de suprimento*

O cálculo do fator de disponibilidade de capacidade das hidrelétricas requer a identificação dos momentos de maior criticidade do SIN em termos de oferta e demanda. Para avaliar efetivamente a contribuição das hidrelétricas, é imperativo definir os momentos em que o sistema, e não apenas o recurso, enfrenta desafios mais significativos. Uma vez estabelecidos esses cenários de maior criticidade, torna-se possível calcular de maneira mais assertiva o fator de contribuição de potência das hidrelétricas.

A seleção dos cenários de maior criticidade de suprimento é realizada a partir dos resultados da simulação do Balanço de Potência onde são avaliadas, para um ano de referência (anoRef), as diferenças entre a oferta e a demanda do SIN nos 2.000 cenários simulados.

Para contabilização da oferta<sup>2</sup> total do SIN são consideradas:

- Hidrelétricas: soma da potência disponível das usinas, conforme calculado na equação (1);
- Termelétricas: soma da disponibilidade máxima de potência, ou seja, potência instalada descontada das taxas de indisponibilidade forçada e programada;

<sup>2</sup> A descrição da contribuição das tecnologias e do sistema de transmissão para o atendimento da demanda máxima encontra-se em EPE (2021).

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

- Renováveis: contribuição considerada conforme cálculo da carga líquida. A contribuição das fontes eólica e solar será correspondente à sua geração conjunta no momento de maior demanda líquida do SIN; e
- Intercâmbio: considerada a mesma configuração de intercâmbio utilizada para o cálculo dos requisitos do sistema.

A demanda considerada neste estudo é aquela no momento de maior carga líquida do SIN. Com esse método, utilizado oficialmente pela primeira vez no PDE 2032, mas que já havia sido considerado em sensibilidades de PDE anteriores, são capturados os comportamentos horários da carga e de toda oferta não controlável. Ademais, essa análise é realizada de forma probabilística, o que permite ao planejador contemplar centenas de milhares de possíveis condições de requisito, e não apenas uma. Além da carga líquida são adotadas também as seguintes premissas:

- À máxima demanda líquida são adicionadas duas parcelas de reserva operativa:
  - Parcela 1: Reserva operativa em função da carga. Igual a 5% para todos os meses de todos os subsistemas; e
  - Parcela 2: Reserva operativa referente à variabilidade das fontes renováveis aplicada à geração, sendo esta reserva correspondente a 6% para eólicas instaladas no Nordeste e 15% no Sul.

A partir das contabilizações de oferta e demanda, são calculadas as ofertas residuais ( $OfertaResidual_{SIN,mês,cen}$ ) de potência no patamar de ponta, para cada mês e cenário hidrológico. Estas ofertas residuais, ou diferenças entre oferta total de potência e a demanda, são utilizadas para a seleção dos cenários extremos.

Consideram-se os **cenários de maior criticidade** de suprimento aqueles que resultam nos menores valores de oferta residual. As ofertas residuais calculadas podem ser negativas, caso sejam cenários de ocorrência de déficits, ou positivas, caso a oferta disponível seja superior à demanda.

$$OfertaResidual_{SIN,mês,cen} = OfertaPotênciaTotal_{SIN,mês,cen} - DemandaPonta_{SIN,mês} \quad (4)$$

Se:

$OfertaResidual_{SIN,mês,cen} < 0$ : ocorrência de déficit no SIN, considerando inclusive o atendimento à reserva operativa;

$OfertaResidual_{SIN,mês,cen} > 0$ : disponibilidade de potência do SIN é maior do que a demanda a ser atendida.

Onde,

- $OfertaResidual_{SIN,mês,cen}$  é a oferta residual de potência do SIN, para cada mês e cenário hidrológico;
- $OfertaPotênciaTotal_{SIN,mês,cen}$  é a oferta total de potência do SIN obtida no Balanço de Ponta, para cada mês e cenário hidrológico; e
- $DemandaPonta_{SIN,mês}$  é a máxima demanda líquida de potência do SIN associada ao maior valor de carga líquida, para cada mês.



Empresa de Pesquisa Energética

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

A metodologia proposta para a determinação do  $F_{DispCap}$  considera os 5% cenários de maior criticidade no atendimento à demanda, ou seja, os **5% cenários referentes às menores ofertas residuais**. A quantidade de cenários a ser considerado no cálculo do  $F_{DispCap}$  depende da discretização temporal adotada, que será descrita a seguir.

Nesta abordagem, ao selecionar os cenários de maior criticidade de suprimento do SIN para estabelecimento do Fator de Disponibilidade de Capacidade, permite-se capturar as seguintes características:

- Escassez é vista de forma sistêmica, pois são selecionados cenários de criticidade do ponto de vista do SIN, e não de um único recurso;
- Reconhece-se a relevância do recurso hídrico para o atendimento ao requisito de capacidade;
- As restrições de intercâmbio são percebidas, pois a simulação considera os limites de exportação e importação dos subsistemas;
- Reduz-se o risco de não haver disponibilidade de recursos hídrico para garantir o compromisso de entrega do produto comercializado, inclusive em situação de escassez hídrica.

## ***ii. Discretização Espacial do Fator de Disponibilidade de Capacidade***

Sobre a perspectiva espacial, o Fator de Disponibilidade de Capacidade, em sua elaboração, busca ter uma visão sistêmica, garantida ao se considerar os cenários de maior criticidade do SIN, e também captar características regionais do recurso primário, que não se distribui uniformemente por todas as regiões. Desta forma, uma vez selecionados os cenários de maior criticidade de suprimento do SIN, são calculados os Fatores de Disponibilidade de Capacidade de cada **subsistema**.

O uso de fatores regionais traz vantagens em relação a fatores para cada empreendimento, pois o efeito agregado, ou portfólio, minimiza possíveis distorções que podem vir a ocorrer em cálculos individuais e confere um efeito suavizador nas possíveis sobre ou subestimações desses parâmetros. Além disso, uma vez que trata de maneira uniforme todos os empreendimentos sujeitos ao regime hidrológico de cada região, no caso de uma possível situação de escassez hídrica, os fatores regionais não permitem que empreendimentos específicos possam vir a ficar expostos de maneira mais acentuada que outros de um mesmo subsistema.

## ***iii. Discretização Temporal do Fator de Disponibilidade de Capacidade***

A base temporal a ser utilizada para os Fatores de Disponibilidade de Capacidade é **anual**. Esta discretização permite a comercialização de um único produto e auxilia no procedimento de apuração.

Para o cálculo do Fator de Disponibilidade de Capacidade Anual, são utilizados os 5% cenários de maior criticidade de suprimento do ano, a partir da amostra de 24.000 cenários (2.000 cenários de todos os 12 meses do ano), ou seja, são avaliados os 1.200 cenários de menor oferta residual.

Desta forma, como não há uma separação entre os cenários dos diferentes meses do ano, é conferida ao Fator de Disponibilidade de Capacidade Anual uma ponderação implícita, com peso maior para os meses em que há menor oferta residual, isto é, nos meses mais críticos de atendimento à demanda líquida máxima.

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

O Fator de Disponibilidade de Capacidade Anual é uma grandeza adimensional estabelecida para estimar a quantidade máxima de capacidade passível de ser comercializada pelos empreendimentos hidrelétricos a partir do acréscimo de potência instalada nas usinas existentes. O valor por subsistema para um determinado ano de referência é dado pela seguinte equação:

$$FDispCap_{subsistema}^{anoRef} = \frac{\sum_{cen \in C} \sum_{usina \in subsistema} PDisp_{usina, cen} * 1/NC}{\sum_{usina \in subsistema} Pinst_{usina}} \quad (5)$$

Onde,

- $FDispCap_{subsistema}^{anoRef}$  é o fator de disponibilidade de capacidade anual de um subsistema para um determinado ano de referência ( $anoRef$ );
- $PDisp_{usina, cen}$  é a potência disponível proveniente de hidrelétricas para cada cenário crítico;
- $Pinst_{usina}$  é a potência instalada da usina hidrelétrica;
- $C$  é o conjunto dos 5% cenários de maior criticidade de suprimento no ano; e
- $NC$  é o número de cenários pertencentes ao conjunto  $C$ .

## 5. Potência hidrelétrica a ser comercializada no Leilão de Reserva de Capacidade

A potência a ser comercializada no Leilão de Reserva de Capacidade, no caso da hidroeletricidade, deve ser proveniente de acréscimo de potência instalada de empreendimentos existentes no SIN. Porém, como o provimento de capacidade desta fonte está correlacionado à disponibilidade do recurso hídrico, deve ser definido um fator que traduza esta grandeza de forma a se equilibrar a oferta e a demanda do requisito de potência e assim evitar sobre ou subcontratação de reserva de capacidade. O total que cada empreendimento pode comercializar no leilão deve seguir a proporção a seguir:

$$CapTotComercializada_{usina} \leq FDispCap_{subsistema}^{anoRef} * PotAdicionada_{usina} \quad (6)$$

Onde,

- $CapTotComercializada_{usina}$  é a capacidade total passível de ser comercializada no leilão, por cada usina hidrelétrica, em MW;
- $FDispCap_{subsistema}^{anoRef}$  é o fator de disponibilidade de capacidade anual do subsistema a que a usina pertence;
- $PotAdicionada_{usina}$  é a potência adicionada ao SIN, proveniente de modernização e/ou repotenciação do empreendimento hidrelétrico com acréscimo de capacidade instalada, em MW.

<b>INFORME TÉCNICO</b>	No. <b>EPE-DEE-IT-017/2024-r0</b>
	Data: 01/03/2024
Definição de contribuição de potência das usinas hidrelétricas para o Leilão de Reserva de Capacidade de 2024	

## 6. Conclusão

Deste modo, aplicando-se a metodologia proposta neste Informe, são obtidos os seguintes fatores que podem ser utilizados na delimitação do total de capacidade que cada usina hidrelétrica pode comercializar no leilão de reserva de capacidade na forma de potência, aplicados à potência adicional, de cada usina, conforme o subsistema no qual está localizada:

**Tabela 1 - Fatores de Disponibilidade de Capacidade, por subsistema**

<b>Subsistema</b>	<b>Fator</b>
Sudeste/Centro-Oeste	<b>XX.X</b>
Sul	<b>XX.X</b>
Nordeste	<b>XX.X</b>
Norte	<b>XX.X</b>
Paraná	<b>XX.X</b>
Itaipu	<b>XX.X</b>
Acre/Rondônia	<b>XX.X</b>
Manaus/Amapá/Boa Vista	<b>XX.X</b>
Belo Monte	<b>XX.X</b>
Teles Pires	<b>XX.X</b>
Tapajós	<b>XX.X</b>

## 7. Referências

EPE, 2021. "Metodologia de Análise para o Atendimento à Demanda Máxima de Potência e Requisito de Capacidade". Disponível em: < [https://antigo.mme.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f86f01bd-dbb6-68c5-c4b6-77010b59f38a&groupId=36189](https://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f86f01bd-dbb6-68c5-c4b6-77010b59f38a&groupId=36189)>

EPE, 2022. "Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. Estudos Complementares: Sensibilidades *what if*". Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Estudos%20Complementares%20PDE2031\\_Sensibilidades%20what%20if.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Estudos%20Complementares%20PDE2031_Sensibilidades%20what%20if.pdf)

EPE, 2022. "Plano Decenal de Expansão de Energia 2032. Caderno de Requisitos de Energia e Potência". Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/PDE2032\\_CadernoRequisitos\\_site\\_rev2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/PDE2032_CadernoRequisitos_site_rev2.pdf)