



Fontes Renováveis e Geração Flexível

VIII SINRENOVA

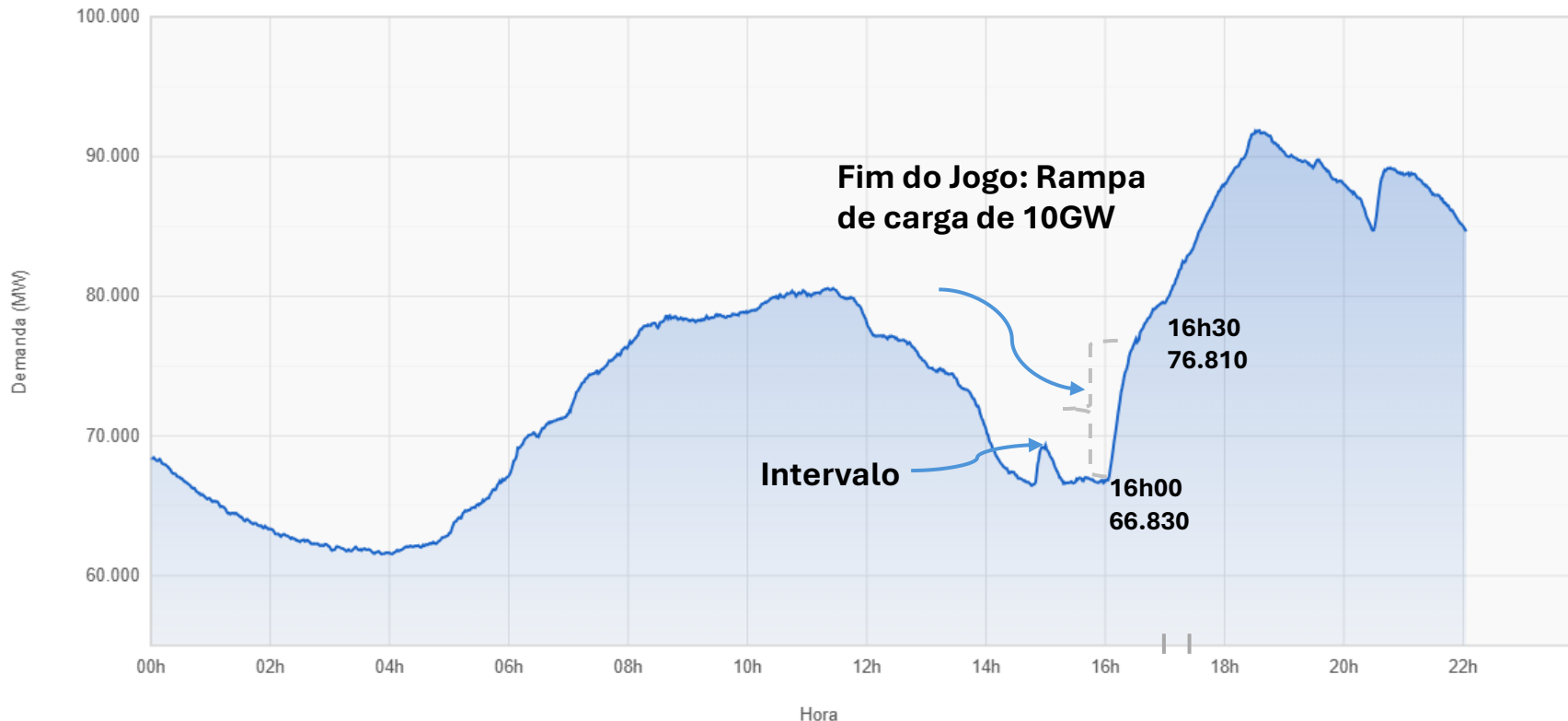
Felipe Gonçalves
Superintendente de Pesquisa – FGV Energia

01/07/2026



Flexibilidade de um sistema de potência é definida como a capacidade desse sistema **gerenciar de forma confiável e econômica** a variabilidade e incerteza da oferta e demanda **em todas as escalas de tempo relevantes** (IEA, 2018).

Curva de Carga em 29/06/2026 – Dia do Jogo Brasil x Japão

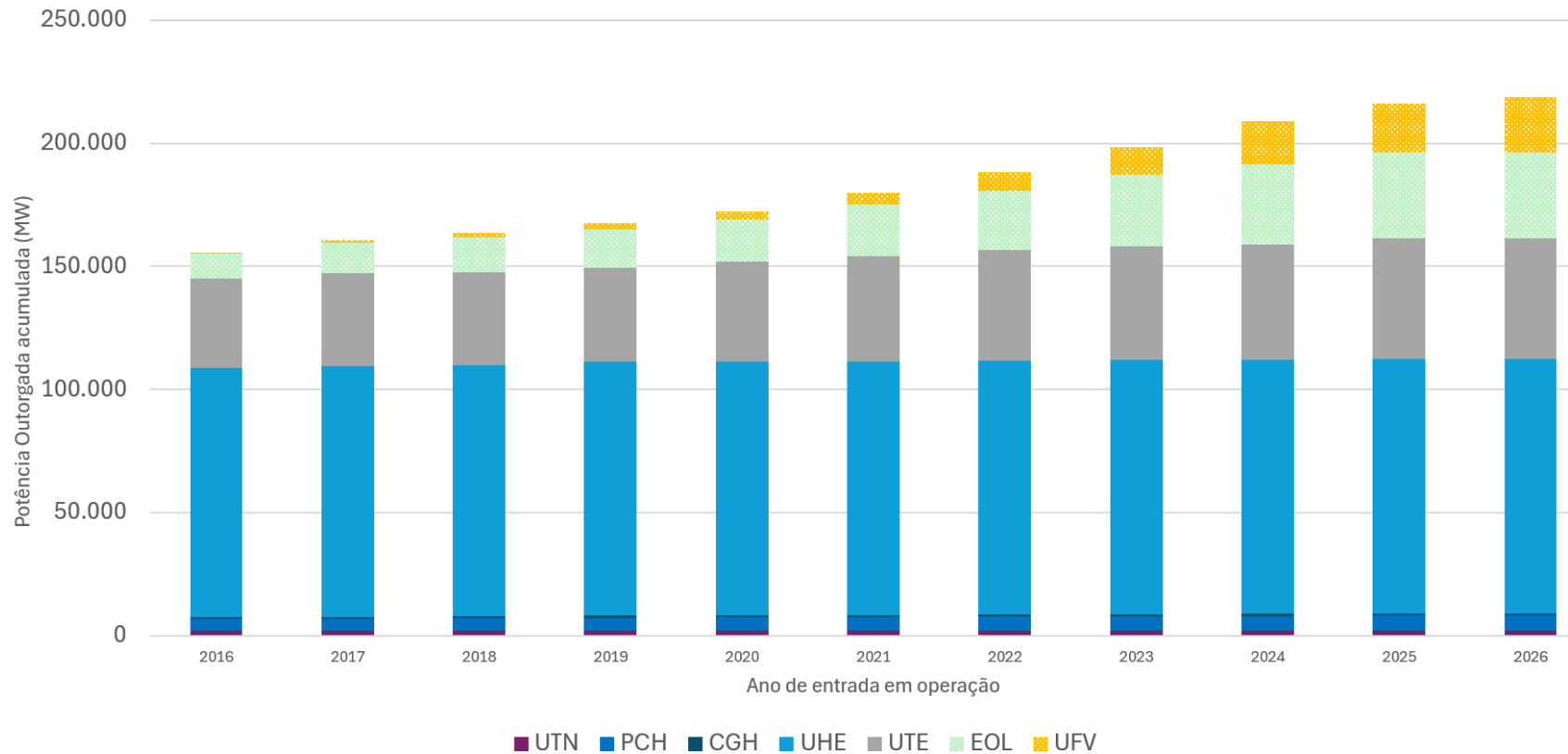


Historicamente, a flexibilidade operativa era predominantemente uma resposta às incertezas da carga, sendo requerida sobretudo em eventos excepcionais que produziam variações abruptas da demanda.

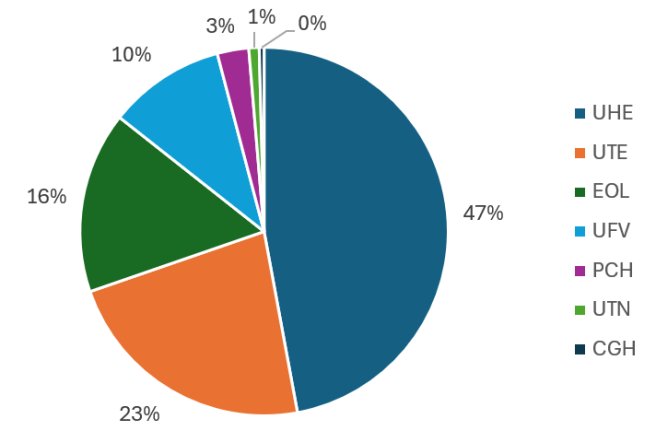
A transição energética altera esse paradigma ao tornar a variabilidade um fenômeno mais frequente e também associado ao lado da oferta.

Formação da Matriz Elétrica no Brasil

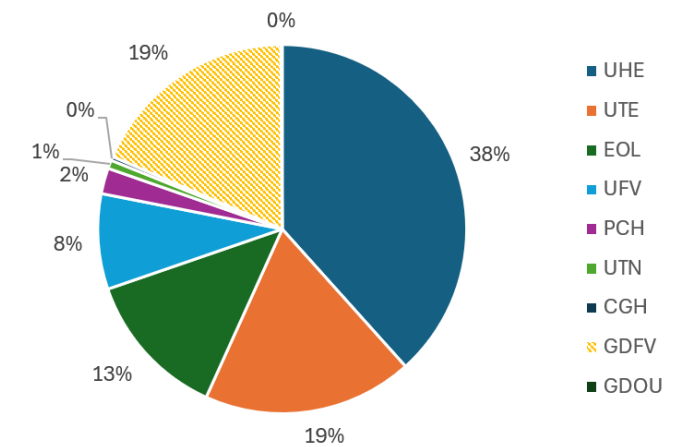
Evolução da Capacidade Instalada no Brasil



Participação por Fonte na Matriz



Participação da GD na Matriz



Curva de Carga Líquida: “O Pato”



FAST FACTS



What the duck curve tells us about managing a green grid

The electric grid and the requirements to manage it are changing. Renewable resources increasingly satisfy the state's electricity

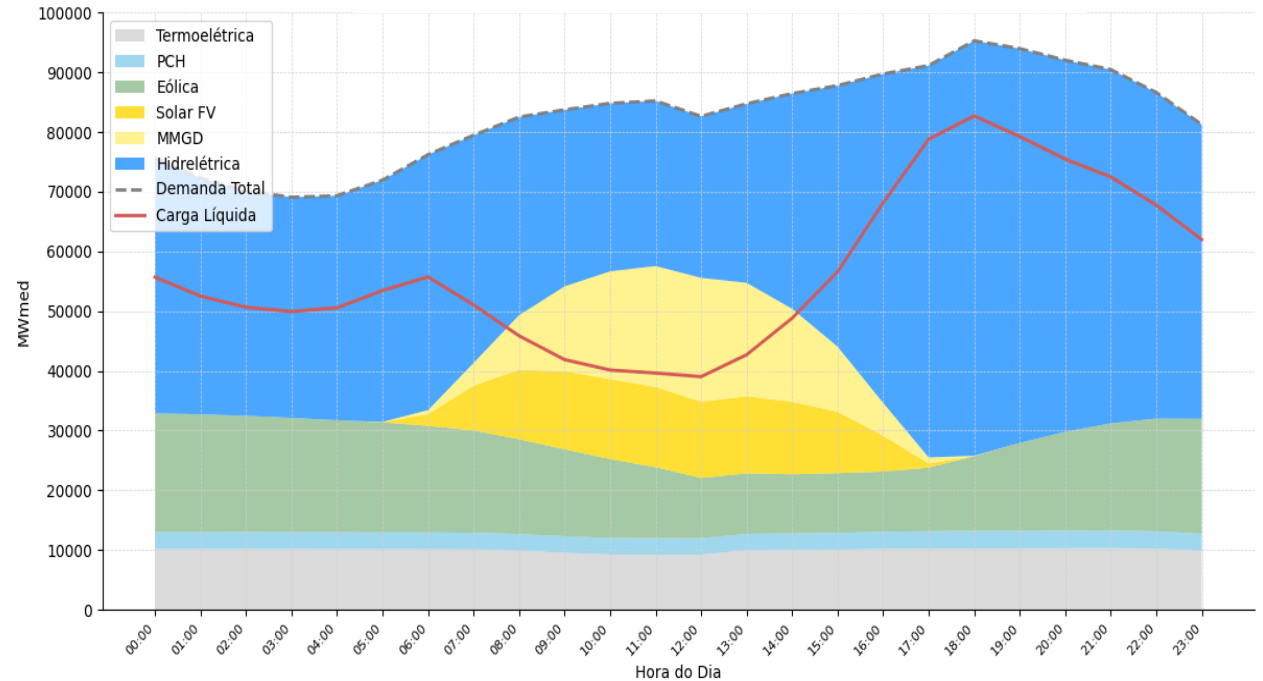
demand. Existing and emerging technology enables consumer control of electricity consumption. These factors lead to different operating conditions that require flexible resource capabilities to ensure green grid reliability. The ISO created future scenarios of net load curves to illustrate these changing conditions. Net load is the difference between forecasted load and expected electricity production from variable generation resources. In certain times of the year, these curves produce a “belly” appearance in the mid-afternoon that quickly ramps up to produce an “arch” similar to the neck of a duck—hence the industry moniker of “The Duck Chart”.

Energy and environmental goals drive change

In California, energy and environmental policy initiatives are driving electric grid changes. Key initiatives include the following:

- 50 percent of retail electricity from renewable power by 2030;
- greenhouse gas emissions reduction goal to 1990 levels;
- regulations in the next 4-9 years requiring power plants that use coastal water for cooling to either repower, retrofit or retire;
- policies to increase distributed generation; and
- an executive order for 1.5 million zero emission vehicles by 2025.

Balanço DESSEM – 03/06/2026



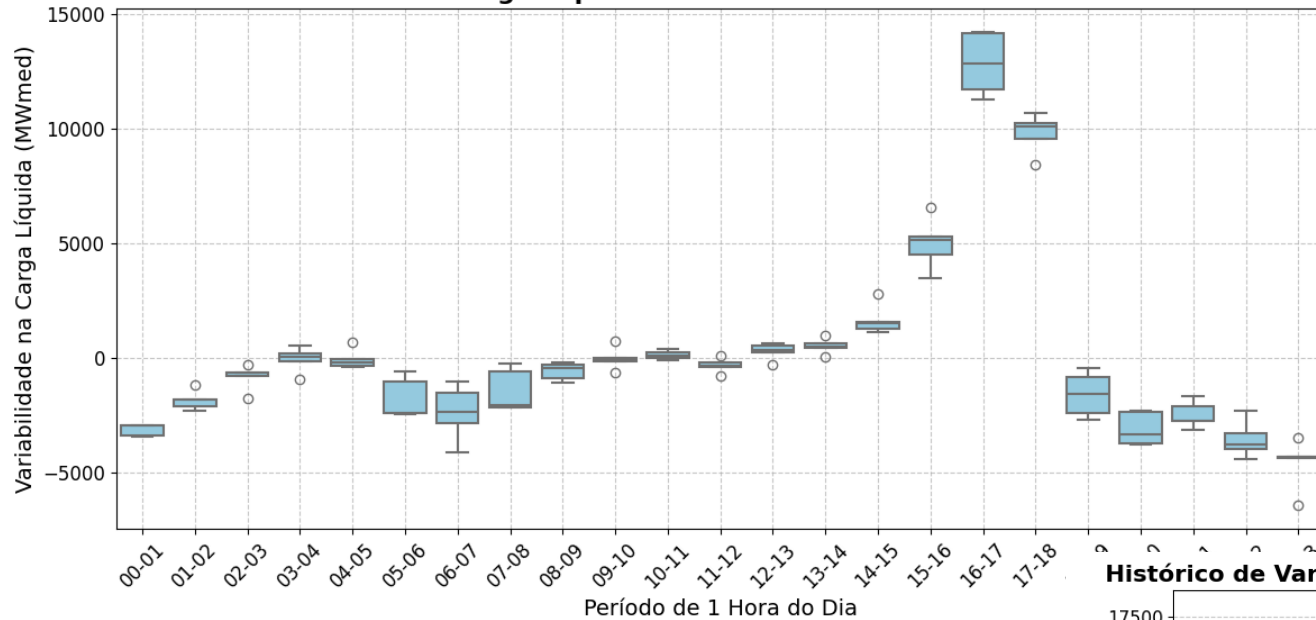
Elaboração própria com dados do ONS

$$(nl_t) = (l_t) - (w_t + s_t)$$

A carga líquida no instante t , (nl_t) é medida pela diferença entre a carga total do sistema em t , (l_t) e a soma da geração eólica (w_t) e solar (s_t)

Variabilidade da Curva de Carga Líquida

Variabilidade da Carga Líquida no Período de 1 Hora - Ano 2025 e Mês 8



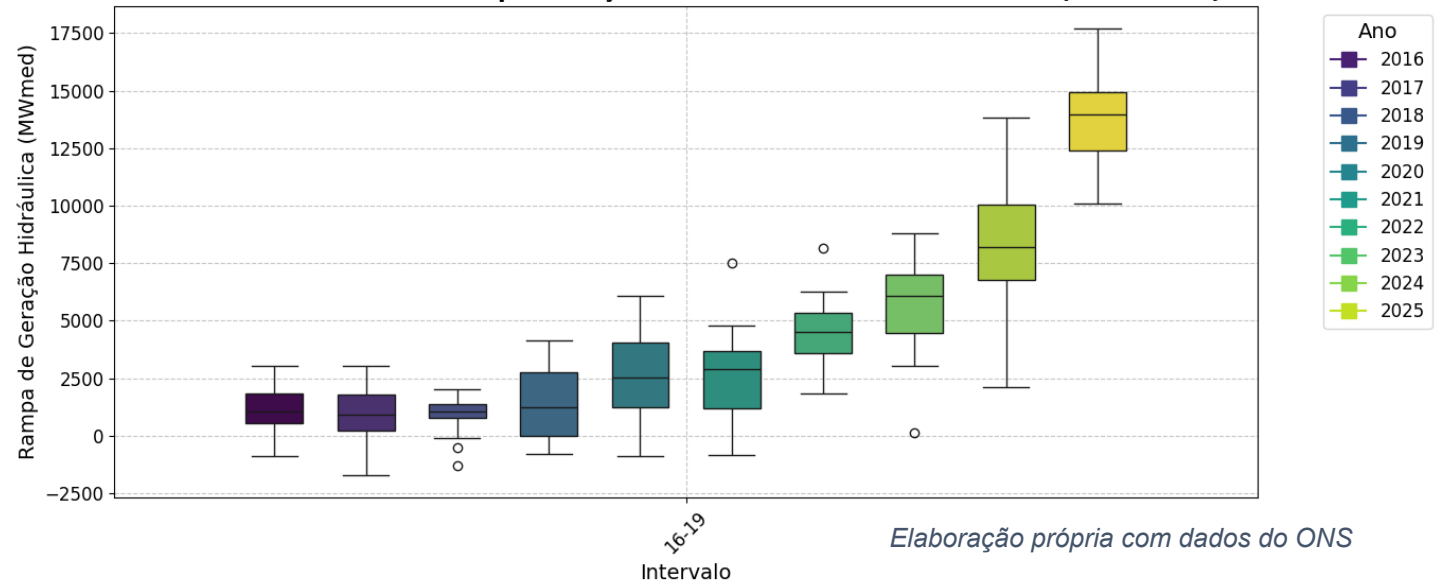
Variabilidade horária da carga líquida

A variabilidade da carga líquida se intensifica entre **15h e 18h**, período associado à redução da geração solar e ao rápido aumento da demanda residual a ser atendida por recursos despacháveis. Esse comportamento evidencia a necessidade crescente de **flexibilidade operativa, reservas e capacidade de resposta rápida** do sistema.

Crescimento das rampas de geração hidráulica

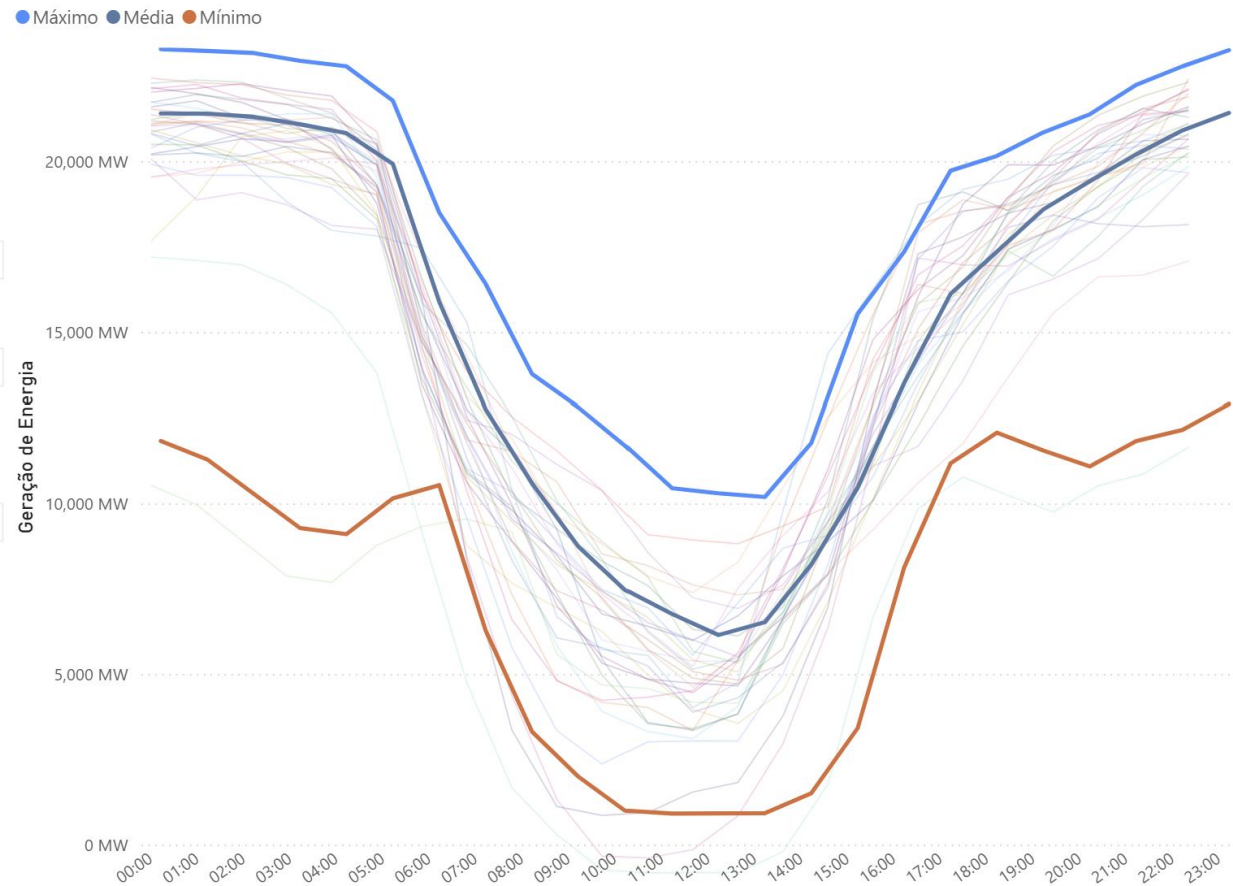
Observa-se um aumento significativo da magnitude das rampas hidráulicas entre **16h e 19h** ao longo dos últimos anos. Esse comportamento **reflete o papel crescente das hidrelétricas na compensação da variabilidade** das fontes renováveis

Histórico de Variabilidade da Rampa Geração Hidráulica de 16 até 19 Horas (2016-2025) - Mês 8

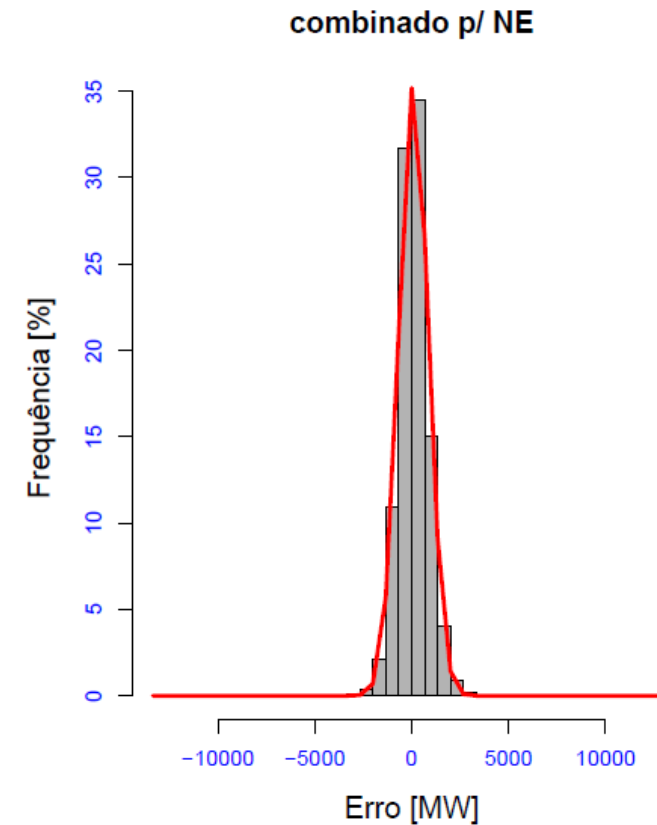


Incerteza da Geração Renovável

Geração Média Horária (Todos os Dias de outubro de 2025)

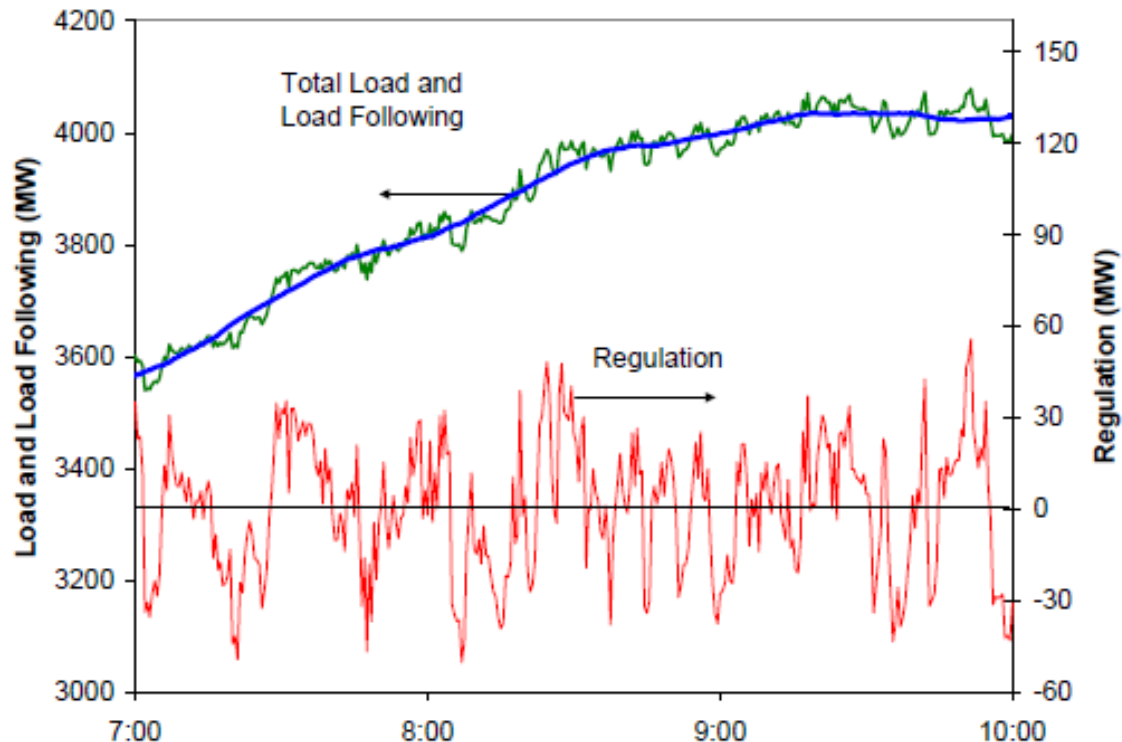


Frequência dos erros brutos para previsão da geração eólica D+1



Fonte: ONS

Reserva de Potência e Reserva de Regulação

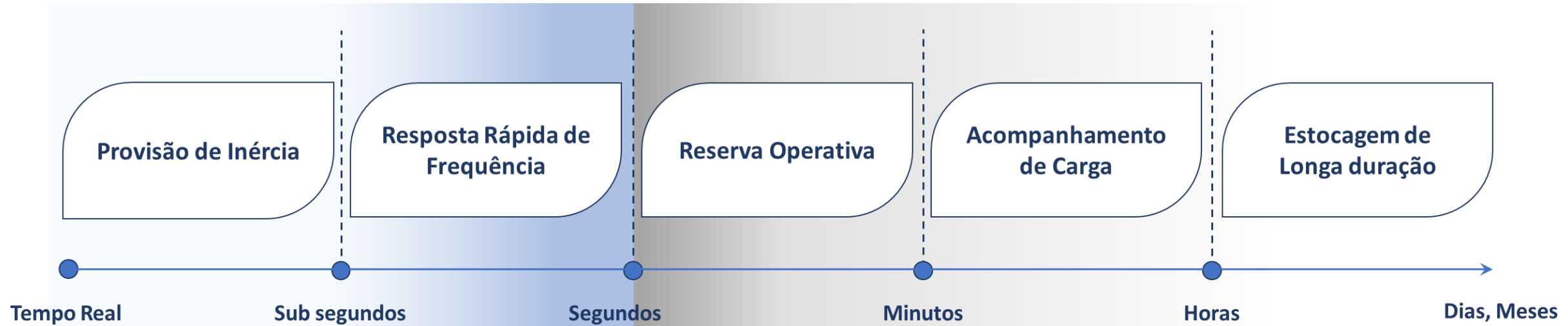


Acompanhamento de carga segue uma tendência previsível da carga; **regulação de frequência** corrige as oscilações rápidas e residuais que sobram entre um despacho.

As incertezas associadas às renováveis propagam-se por diferentes horizontes temporais, requerendo recursos de flexibilidade em camadas

Tipo de Reserva Operativa	Escala típica de atuação	Objetivo
Controle de frequência (primário)	Segundos (até dezenas de segundos)	Conter desvios de frequência imediatamente após um desequilíbrio geração-carga
Regulação (secundário/CAG)	Minutos (tipicamente 1 a 15 min)	Restaurar a frequência e os intercâmbios programados
Acompanhamento de carga (load following)	Dezenas de minutos a horas	Seguir tendências previsíveis da carga líquida

Serviços de Flexibilidade em Diferentes Escalas Temporais



Serviços Elétricos

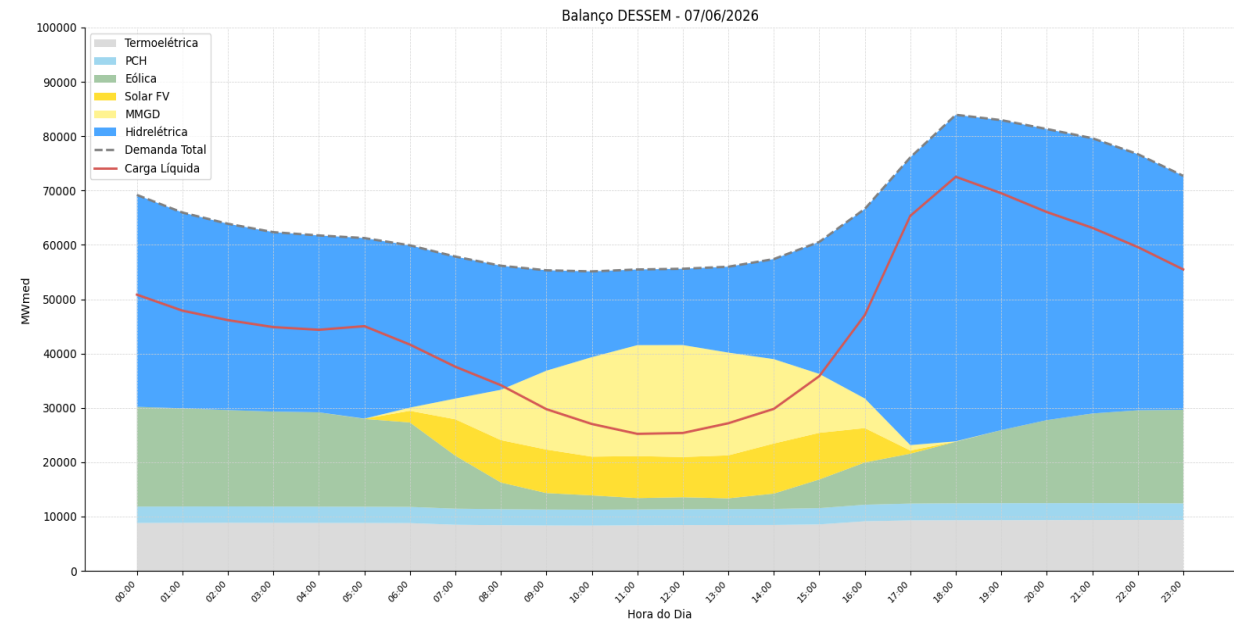
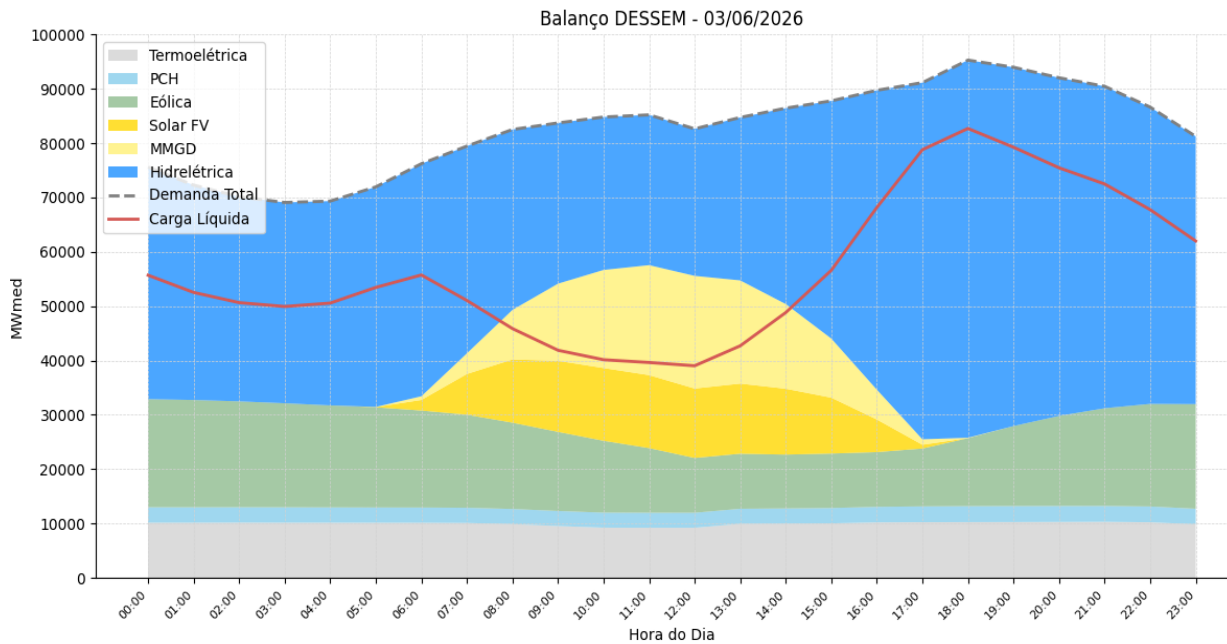
- Abrangência local

Serviços Energéticos

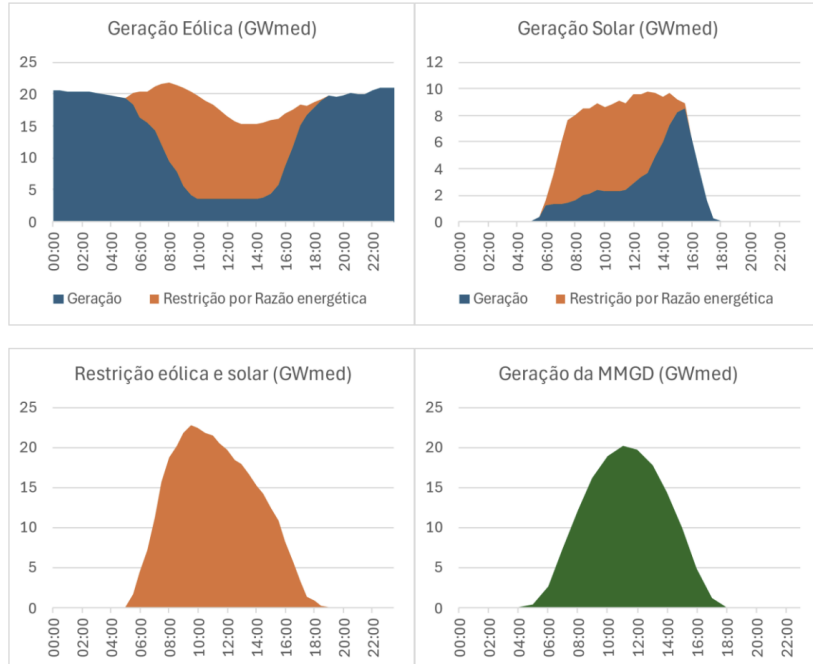
- Abrangência Sistêmica

Cortes de Geração em Dias de Carga Baixa

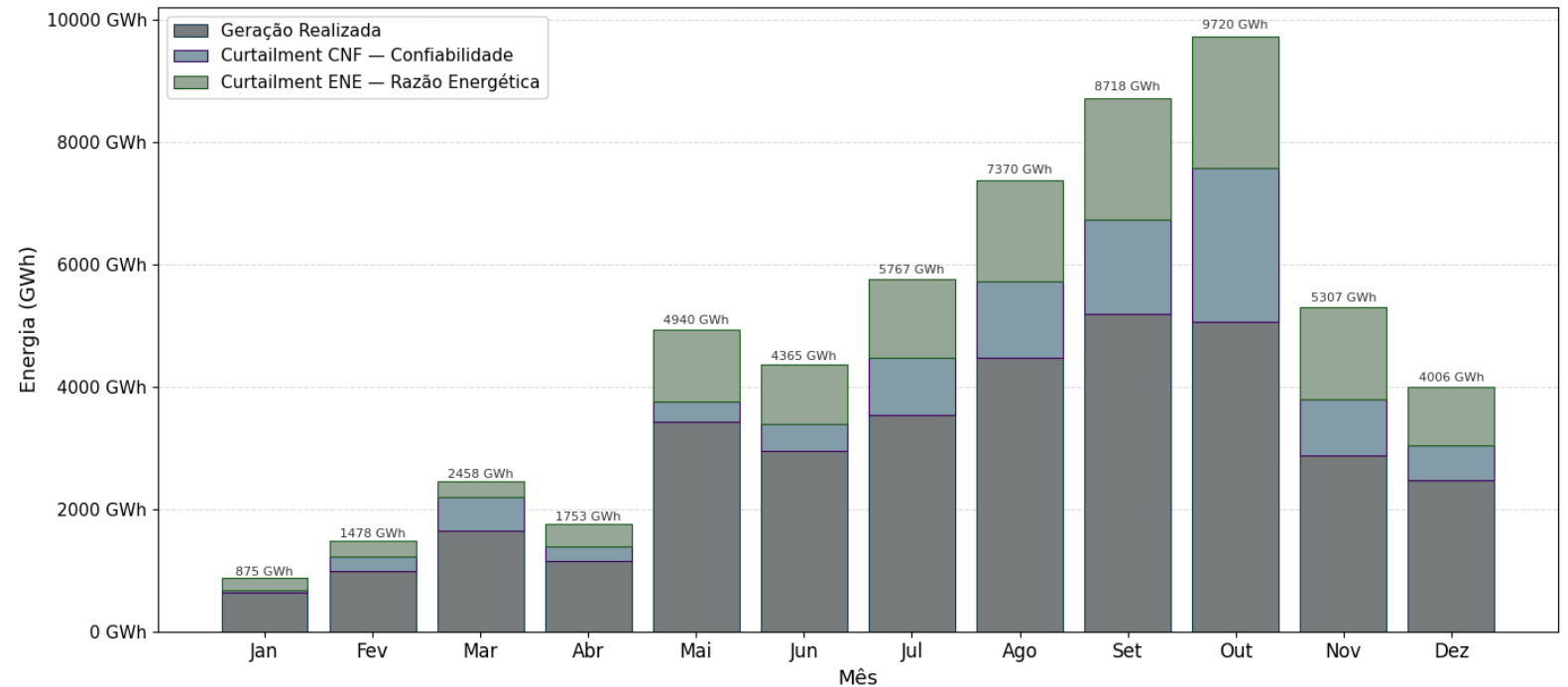
A crescente penetração da geração solar distribuída em conjunto com a parcela inflexível da geração (hídrica e termoeétrica) reduz o espaço para manobras operativas, tornando o corte de geração uma ferramenta cada vez mais necessária para a operação segura do sistema.



Cortes de Geração Eólica

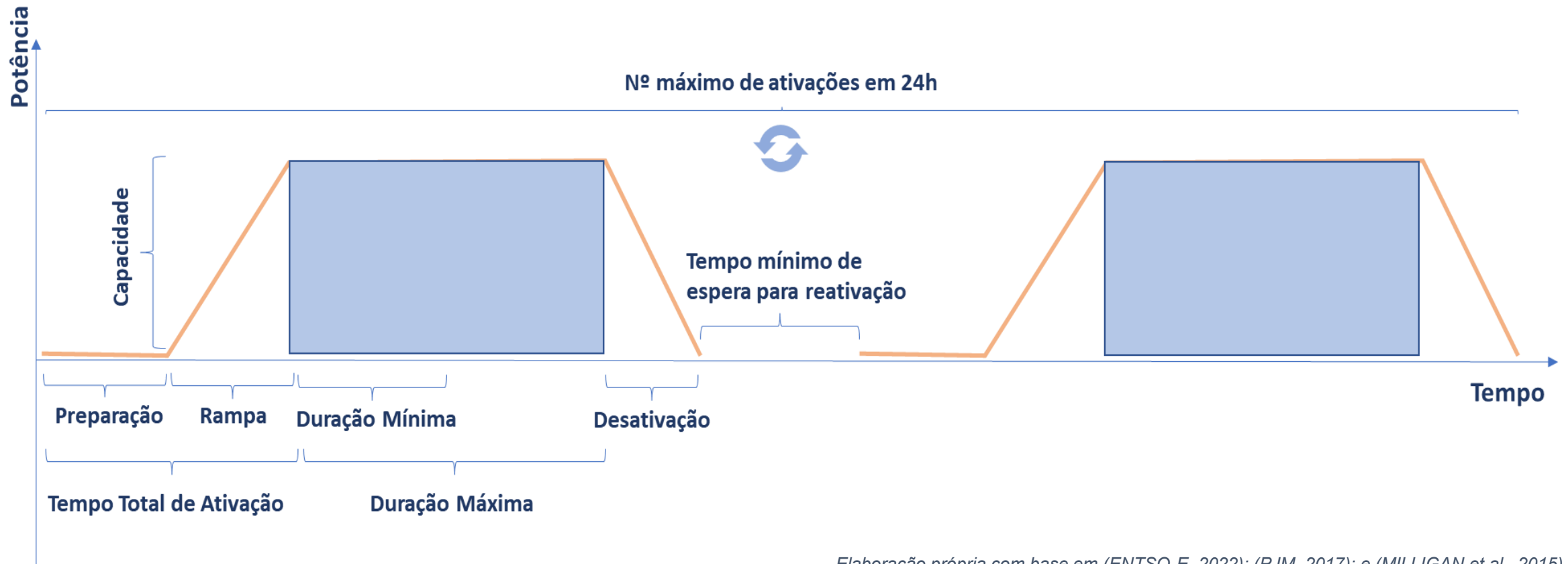


**Restrição de Geração Eólica (Curtailment)
NORDESTE — 2025**



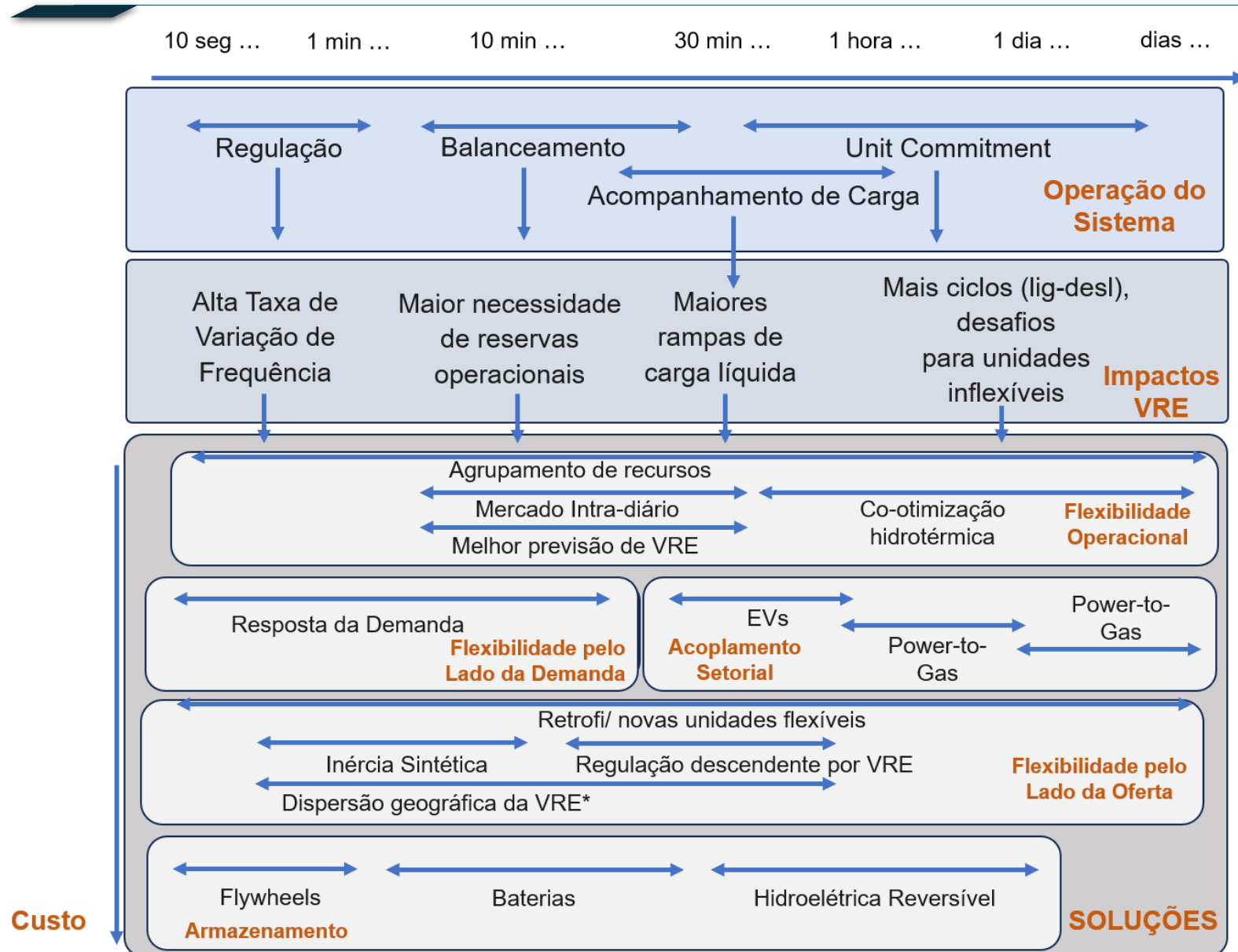
Fonte: ONS

Dimensões da flexibilidade



Elaboração própria com base em (ENTSO-E, 2022); (PJM, 2017); e (MILLIGAN et al., 2015).

Diversidade dos Recursos Flexíveis

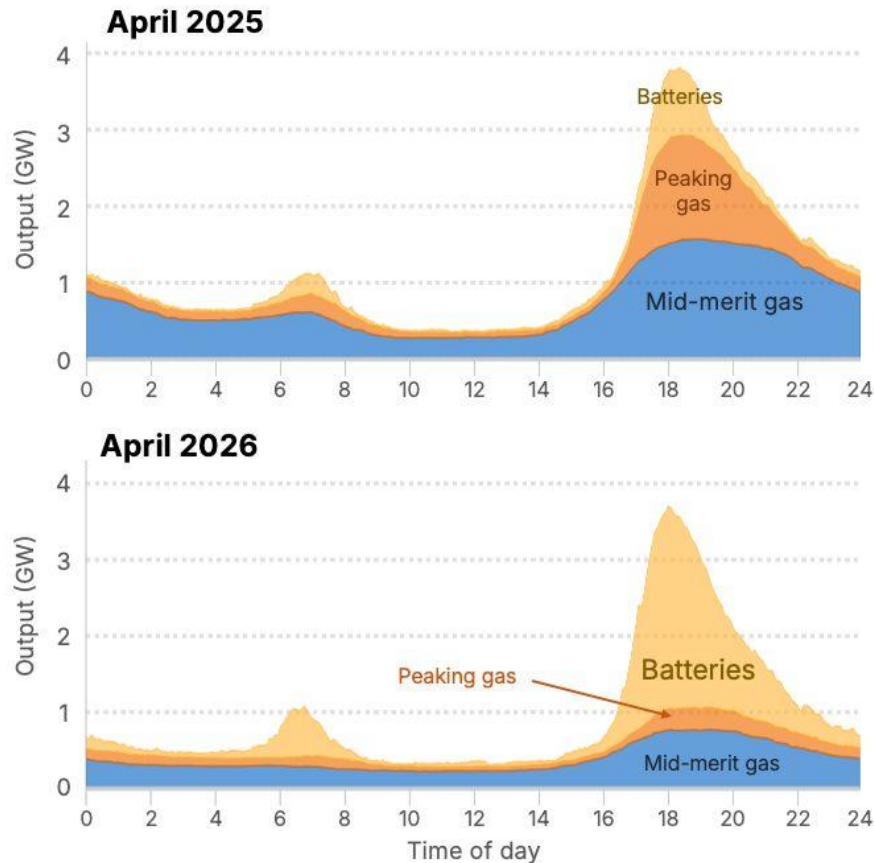


Escala de Tempo

A flexibilidade do sistema é um atributo multidimensional: diferentes desafios operativos, em diferentes escalas temporais, requerem um conjunto complementar de soluções, desde serviços de resposta rápida e armazenamento até recursos de demanda, coordenação setorial e mecanismos de mercado.

Batteries are taking over Australia's evening peak

Peaking gas fell sharply as battery discharge surged



Source: Open Electricity, via AFR
NEM 28-day average ending 30th April each year

@gavinmooney

Battery storage is flattening the duck curve in Australia

Peak prices are lower, midday prices are higher



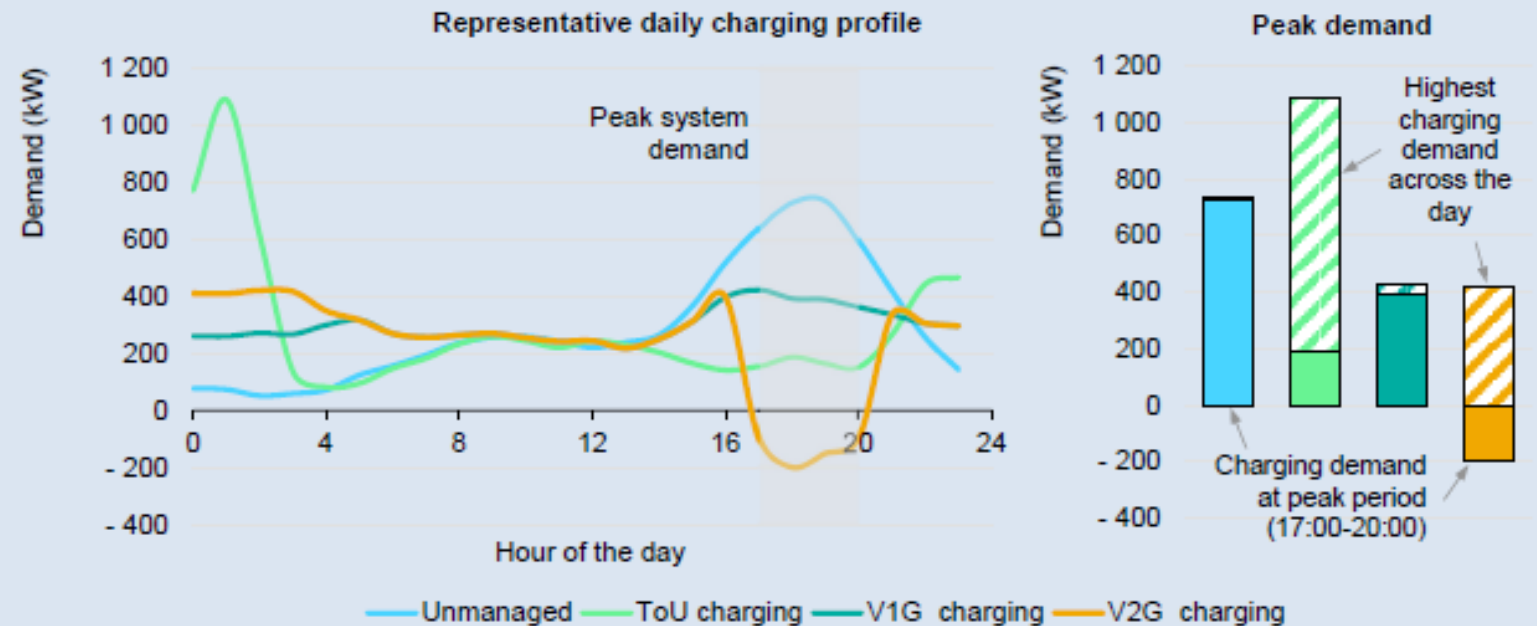
Chart shows average Q1 wholesale prices in Victoria, Australia
Original chart: SEC

@gavinmooney

Carregamento dos EVs como Recurso de Flexibilidade

A eletrificação dos transportes pode representar tanto um desafio quanto uma oportunidade para o sistema elétrico. Sem coordenação, o carregamento dos veículos elétricos tende a aumentar os picos de demanda e os investimentos em infraestrutura. Por outro lado, estratégias de **carregamento inteligente (V1G)** e, principalmente, **carregamento bidirecional (V2G)** transformam os veículos elétricos em um importante recurso de flexibilidade.

The impact of unmanaged charging, V1G charging and V2G charging on peak demand from the representative charging of 1 000 vehicles



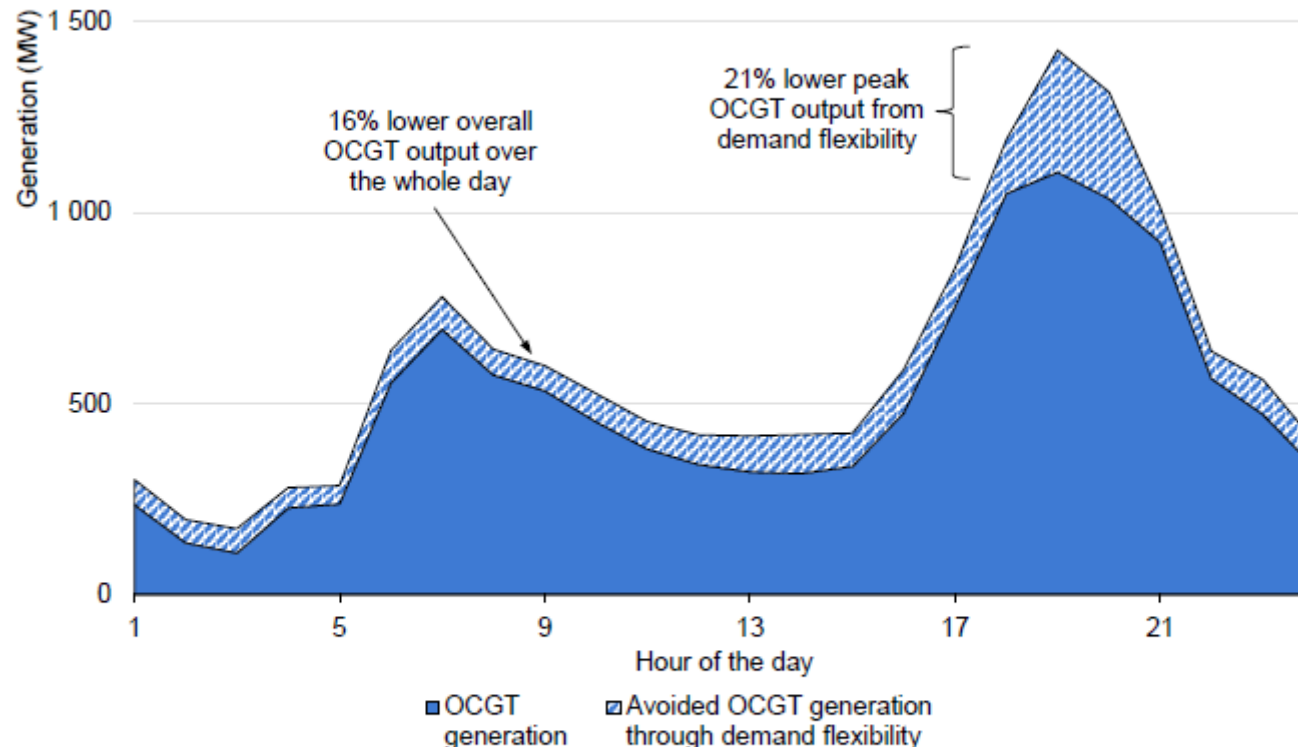
IEA. CC BY 4.0.

Notes: ToU = time of use; V1G = one-directional EV charging; V2G = vehicle-to-grid (bidirectional charging). The magnitude of peak demand will also vary with the charging speed.

Source: IEA (2023), [Electric Vehicle Charging and Grid Integration Tool](#).

Propagação dos Impactos do *Peak Shaving*

Avoided peaking open-cycle gas turbine generation through peak shaving for an average day during periods of contracted peak shaving in South Africa, 2022-2025



IEA. CC BY 4.0.

Notes: OCGT = open-cycle gas turbine. The analysis assumes that when contracted peak shaving was available, but emergency non-contracted load shedding was not occurring, without contracted peak shaving, the equivalent demand would be met by peaking OCGT generation from both Esko to avoid load shedding.

Source: IEA analysis based on data from Eskom (2025).

Embora as turbinas a gás de ciclo aberto sejam recursos flexíveis, seus custos de partida e restrições operativas fazem com que sejam despachadas antecipadamente para atender os períodos de ponta. Assim, ao reduzir a demanda máxima, o *peak shaving* permite postergar ou evitar o acionamento dessas unidades, diminuindo sua geração não apenas no horário de pico, mas ao longo de todo o dia.



FGV ENERGIA

felipe.goncalves@fgv.br

fgvenergia.fgv.br