

A usina que gera quando desliga

Resposta da demanda, flexibilidade e o potencial dos negawatts no Brasil

Francisco Abreu Victor • Gabriel Konzen • Glaysson de Mello Muller

Artigo inaugural da série Entenda o Cenário, uma série a ser publicada a cada dez dias apresentando trabalhos e discutindo temas relevantes para o planejamento energético nacional.

Diz a história que, no fim dos anos 1980, o físico americano Amory Lovins topou com um erro de digitação em um relatório da comissão reguladora de serviços públicos do Colorado: onde deveria estar escrito megawatt, lia-se negawatt. Em vez de corrigir, ele adotou a palavra. O negawatt era o megawatt que o sistema não precisava produzir porque alguém, do outro lado do medidor, deixava de consumi-lo na hora certa. Lovins passou a defender que essa era a usina mais barata que uma empresa de energia poderia construir.

Quase quarenta anos depois, em junho de 2025, uma onda de calor levou o PJM, maior operador regional dos Estados Unidos, ao limite de carga. Nesse momento crítico, o operador acionou consumidores contratados para reduzir carga e retirou mais de 4.000 MW do pico, mais do que a potência instalada de Jirau. Não havia turbina alguma envolvida: as usinas que socorreram o sistema eram indústrias que estavam do outro lado do medidor e que “geraram negawatts” desligando.

+4.000 MW

retirados do pico pelo PJM em um momento crítico

0 turbinas

o recurso estava do outro lado do medidor

Esse princípio se chama resposta da demanda (RD) e pode ser aplicado sem impacto à produtividade das empresas, desde que seja combinado com antecedência para que a produção seja compensada nos momentos em que a energia não é crítica. O modelo em que a redução ocorre por solicitação do operador é conhecido como RD por incentivos. No Brasil, o conceito remonta à década de 1980, com a criação das tarifas verde e azul para o setor industrial.

EVOLUÇÃO NO BRASIL

Da experiência emergencial ao desenho estrutural

A resposta da demanda avançou em etapas, mas o volume contratado ainda é pequeno diante do tamanho do sistema.

2017 Primeiro piloto A ANEEL cria o primeiro piloto para os setores comercial e residencial, ainda com baixa adesão.	2021 Crise hídrica A Redução Voluntária da Demanda mobiliza a indústria e prova que a carga pode ser recurso operacional.
2022 Programa estrutural O mecanismo deixa de ser apenas emergencial e passa a buscar continuidade.	2026 Sandbox regulatório A contratação competitiva de disponibilidade alcança 344 MW em julho.

Para os setores comercial e residencial, o mecanismo começou a avançar com o primeiro piloto criado pela ANEEL em 2017, ainda com baixa adesão. Em 2021, no auge da crise hídrica, a Redução Voluntária da Demanda mobilizou a indústria e provou que a carga podia ser um recurso operacional, mas permaneceu como medida emergencial temporária. Depois vieram o Programa Estrutural de 2022 e o sandbox regulatório, que passou a contratar disponibilidade de redução em mecanismos competitivos. Em julho de 2026, foram contratados 344 MW, superando as duas edições anteriores.

344 MW contratados no mecanismo competitivo	106.532 MW recorde de demanda instantânea do SIN em fevereiro de 2025	0,3% participação aproximada da RD contratada sobre esse pico
---	---	---

Apesar dos avanços, 344 MW representam apenas 0,3% dos 106.532 MW do recorde de demanda instantânea registrado pelo SIN em fevereiro de 2025. Nos sete mercados organizados dos Estados Unidos, a resposta da demanda contratada somou 33,2 GW em 2024, cerca de 6,5% da ponta, chegando a 10,6% na região central do país, atendida pelo MISO. A França conta com 3,7 GW mobilizáveis e mira 6,5 GW em 2030; o Reino Unido planeja entre 10 e 12 GW de flexibilidade para a mesma data. Em proporção do pico de demanda, o Brasil mobiliza de 20 a 33 vezes menos do que os mercados que amadureceram esse recurso.

Em setembro de 2026, a EPE publica uma Nota Técnica que explora o potencial técnico da RD por incentivos no Brasil e propõe aprimoramentos para fomentar essa oportunidade, em atendimento à deliberação da 323ª Reunião do CMSE, de 2 de setembro de 2026, que determinou a continuidade e o aperfeiçoamento dos mecanismos de Resposta da Demanda. Este artigo apresenta algumas das ideias debatidas na Nota.

FLEXIBILIDADE

O recurso que o sistema precisa agora

Ao meio-dia pode sobrar energia renovável; ao anoitecer, pode faltar potência por algumas horas.

MEIO-DIA

Excesso de oferta

A geração renovável pode ser limitada quando a oferta supera a capacidade de absorção do sistema.

ANOITECER

Necessidade de potência

A saída da geração fotovoltaica aumenta a necessidade de recursos rápidos e flexíveis.

Quem é do setor de energia sabe que a operação do SIN se transformou nos últimos anos. Ao meio-dia, a geração renovável é limitada por excesso de oferta; ao anoitecer, com a fotovoltaica saindo da rede em bloco, o que falta é potência por algumas horas. O PDE 2035 avaliou a flexibilidade como o atributo do momento, e a resposta da demanda é potencialmente o recurso mais rápido e barato para atendê-la: as “usinas” já existem, já estão conectadas e já têm transmissão.

O que falta é torná-las contratáveis.

Isso exige três condições que parecem simples, mas não são: uma medição verificável, uma remuneração compatível com o compromisso assumido e um produto desenhado de modo a incentivar eventuais investimentos na flexibilização da produção.

Resposta da demanda como proporção da ponta



Comparação da resposta da demanda contratada como proporção da ponta, com base nos dados citados no artigo.

As usinas já existem, estão conectadas e contam com transmissão. A escala depende do desenho do mecanismo.

MEDIÇÃO E LINHA BASE

Como medir algo que não aconteceu

A resposta da demanda entrega uma diferença - e um dos termos dessa subtração não existe fisicamente.

Consumo esperado

quanto a unidade consumiria sem o acionamento

– Consumo real

quanto foi efetivamente consumido

= Redução

o desempenho entregue pelo participante

Para entender por que a medição está no coração do problema, é preciso ver como a resposta da demanda funciona, pois seu princípio é diferente do de qualquer usina. Uma térmica entrega megawatts que um medidor registra. Já a resposta da demanda entrega uma diferença entre o que a fábrica teria consumido se não fosse acionada e o que efetivamente consumiu. O primeiro termo dessa subtração não existe fisicamente. É um contrafactual, uma estimativa, e todo o mecanismo, do desempenho à penalidade, depende dela. Essa é a chamada linha base.

Três requisitos para uma boa linha base

01

Precisão

Pagar exatamente o que foi reduzido.

02

Simplicidade

Permitir que o engenheiro da fábrica audite o cálculo e preveja a receita.

03

Integridade

Evitar manipulação ou distorção.

A experiência internacional convergiu para a metodologia “Maior X de Y”, que toma os X dias de maior consumo entre os Y dias mais recentes: 4 de 5 no PJM, 15 de 20 em Ontário e 10 de 10 na Califórnia. Para o Brasil, a EPE recomenda a média dos 5 dias de maior consumo entre os últimos 10 elegíveis, com ajustes intradiários para garantir a integridade.

Recomendação para o Brasil: média dos 5 maiores dias de consumo entre os últimos 10 elegíveis.

Dois segmentos de participantes precisam de atenção especial. O primeiro é o dos agregadores, que reúnem pequenas cargas de perfis distintos. A linha base deve ser calculada individualmente, medidor a medidor, antes da soma, e não sobre o portfólio. O segundo é o dos cogeradores, com geração atrás do medidor. Eles precisam de dois medidores, pois somente a medição separada da geração e da carga impede que o mesmo megawatt seja pago duas vezes, como geração e como redução.

POTENCIAL TÉCNICO

Uma usina virtual de 8,8 GW já existe

O potencial brasileiro está em cargas industriais, data centers e cogeneradores distribuídos pelo país.

5,9 a 13,1 GW

faixa de potencial técnico estimado

8,8 GW

cenário de referência

5,6% a 12,4%

equivalência em relação ao pico do SIN

Mas afinal, qual é o potencial do Brasil para a RD? Na Nota, ele é avaliado a partir do consumo de oito segmentos eletrointensivos - aço, alumínio, alumina, cimento, cloro, papel, ferroligas e data centers - somado à cogeração, especialmente nos setores de cana-de-açúcar e de papel e celulose. Considerando também os graus de aceitabilidade levantados junto à indústria, estima-se um potencial entre 5,9 e 13,1 GW, com 8,8 GW no cenário de referência.

Onde está o potencial

INDÚSTRIA

Oito segmentos

Aço, alumínio, alumina, cimento, cloro, papel, ferroligas e data centers.

COGERAÇÃO

Energia atrás do medidor

Destaque para cana-de-açúcar e papel e celulose.

FLEXIBILIDADE

Rotas conhecidas

Antecipar ou adiar produção, acionar geração própria e aliviar cargas auxiliares.

As rotas são conhecidas: antecipar ou adiar etapas da produção, acionar geração própria, aliviar bombas, ventiladores e compressores. No cenário de referência, o potencial de 8,8 GW equivale a uma faixa entre 5,6% e 12,4% do pico do SIN, exatamente o intervalo em que operam MISO, CAISO e outros mercados maduros.

Não falta potencial. Faltam mecanismos para viabilizá-lo no Brasil.

A questão, portanto, não é construir uma nova infraestrutura física. O recurso está espalhado por fábricas e cogeradoras e pode ser mobilizado desde que o desenho regulatório transforme flexibilidade em um produto confiável, mensurável e economicamente atrativo.

DESENHO DO MECANISMO

Remuneração e produtos compatíveis com a operação

O participante precisa receber pela disponibilidade e pelos custos que surgem quando a redução é acionada.

Mecanismo 1 Remuneração em duas parcelas

Hoje o vencedor recebe uma receita fixa pela disponibilidade e fica exposto ao PLD, mas seu custo não é fixo. Ele aparece a cada acionamento, na produção deslocada, no combustível da geração própria, na parada e na retomada do processo. Como o número de acionamentos varia entre um mínimo e um máximo, o agente é obrigado a embutir no lance uma aposta sobre quantas vezes será chamado. Trata-se de um risco que ele não controla e que encarece o leilão para ambas as partes.

Parcela fixa

remunera a disponibilidade oferecida

Parcela variável

é paga somente quando há acionamento

A saída é adotar o que o setor já utiliza para as térmicas: uma parcela fixa pela disponibilidade, definida pelo lance, e uma parcela variável paga apenas quando houver acionamento, valorada por um custo variável unitário declarado pelo próprio consumidor. Além de aproximar receita e custo, o CVU permite ordenar o despacho do recurso mais barato ao mais caro e induz declarações honestas: quem declara acima do custo real é acionado menos e recebe menos; quem declara abaixo é acionado quando não compensa.

Mecanismo 2 Produtos para diferentes perfis

A resposta da demanda é sui generis: uma siderúrgica, uma cimenteira e uma usina de cana têm restrições operativas incomparáveis. Por isso, é importante haver produtos com número de acionamentos e duração diferenciados, capazes de capturar a variedade entre os consumidores. A Nota propõe que, em um futuro processo competitivo, unidades com diferentes características possam participar e que eventuais vantagens recebam uma bonificação: despachos de 1 a 4 horas, de 2 a 20 acionamentos por mês e antecedência entre 15 minutos e 24 horas.

DURAÇÃO

1 a 4 horas

Janelas de redução compatíveis com diferentes processos.

FREQUÊNCIA

2 a 20 vezes por mês

Quantidade de acionamentos previamente conhecida.

ANTECEDÊNCIA

15 minutos a 24 horas

Avisos adequados a diferentes capacidades de resposta.

Também é fundamental haver duas categorias de contrato: uma curta, de três meses, para recursos de flexibilidade sazonal, como a cogeração a bagaço; e outra de cinco anos ou mais, para quem precisa investir em silos, armazenamento térmico ou retrofit de fornos e não recupera esse capital em um contrato anual.

PLANEJAMENTO E DESPACHO

Um lugar para a demanda na ordem de mérito

O planejamento já reconhece o valor estrutural da RD; contratação e operação ainda precisam fazer o mesmo.

Mecanismo 3 Inserção estrutural

O terceiro mecanismo é mais filosófico. No Plano Decenal de Expansão, a RD compete em igualdade com as tecnologias de oferta e é selecionada pelo modelo de decisão de investimentos. Entretanto, ela está ausente justamente nas duas etapas que transformam o plano em realidade: no cálculo do volume a ser contratado, que tem sido baseado no requisito conjuntural de potência e não na visão estrutural; e na formação do preço de curto prazo, em que a RD não tem CVU e, por isso, não entra na ordem de mérito nem forma o CMO.

Em outras palavras, o planejamento reconhece que a RD reduz o custo do sistema estruturalmente, mas sua contratação ainda é vista como solução de curto prazo para problemas imediatos. Na Grã-Bretanha, a resposta da demanda disputa os mesmos leilões de capacidade que geradores e baterias. Afinal, todas são alternativas para atender ao requisito de potência. O sistema não vê diferença entre megawatt e negawatt.

Naturalmente, nada disso dispensa o sinal de preço. A tarifa branca, a tarifa horária em discussão na ANEEL e o PLD horário podem induzir parte dessa flexibilidade de forma orgânica, sem contrato. Mas o setor contrata capacidade por leilão justamente porque o preço, sozinho, não garante ao operador que o recurso estará disponível na hora do estresse, nem dá ao consumidor a previsibilidade de receita que justifica novos investimentos.

O sistema não vê diferença entre megawatt e negawatt.

O avanço dos últimos certames é encorajador e tem criado aprendizado sobre RD no Brasil. Diante de um potencial medido em gigawatts, porém, o desafio agora é o da escala. O negawatt, no Brasil, já não é erro de digitação, mas ainda cabe na margem de erro. A vantagem é que mudar isso não exige construir nada. Os 8,8 GW já existem em fábricas e cogeradoras espalhadas pelo país.

01 Linha base confiável Medição que o participante e o operador possam auditar.	02 Contrato que pague o custo Remuneração compatível com disponibilidade e acionamento.	03 Lugar no requisito e no despacho Participação estrutural na contratação e na ordem de mérito.
---	---	--

Quando forem chamadas, essas usinas vão gerar do jeito mais improvável que uma usina pode gerar:

desligando.