



Imprint

Publisher

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Registered offices: Bonn and Eschborn, Germany

Project

German-Brazilian Energy Partnership
SCN Quadra 01, Bloco C, Sala 1501
70711-902 Brasília – DF, Brazil
Kristina Kramer
E-mail: kristina.kramer@giz.de
Stéphanie Gomes
E-mail: stephanie.gomes@giz.de
Gabriela Kaya
E-mail: gabriela.kaya@giz.de
Website: www.energypartnership.com.br
Tel.: +55 61 2101 2170

Text

PSR
Mitsidi Projetos

As at

29/11/2023

Design

Vaz Gontijo Consultoria, Brasilia

This publication is available for download only.

The contents of this publication do not necessarily express the opinion of Energy Research Office (EPE).

Energy Partnership



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



In charge of implementing the bilateral partnership



Conteúdo

Lista de figuras	5
Lista de tabelas	6
1. Introdução	9
1.1 Organização do relatório	10
2. Análise dos perfis de demanda elétrica	11
2.1 Dados disponíveis e limitações	11
2.2 Classificação em perfis horários	15
2.3 Dias de menor consumo	17
2.4 Divisão regional	19
2.5 Plano Decenal de Expansão de Energia 2031	20
3. Análise das quantidades macro	21
3.1 Quantidade total produzida	21
3.2 Consumo específico de eletricidade	23
3.3 Receitas, custos e componentes de custo	26
3.4 Linha de base para o custo do déficit	28
4. Paradigma de comportamentos da indústria	31
4.1 Limitações de aceitabilidade	31
4.2 O produto ponta e o produto média	34
4.3 Principais rotas de resposta da demanda	35
5. Quantificação do potencial: Rota geração própria	35
5.1 Fundamentos	35

5.2	Estimativa de capacidade já existente de geração própria local	36
5.3	Custos de um gerador a diesel	42
5.4	Custos da cogeração	48
5.5	Curva de oferta de RD pela rota geração própria	49
6.	Quantificação do potencial: Rota redução/deslocamento	52
6.1	Fundamentos	52
6.2	Redução/deslocamento do consumo sem perda agregada	52
6.3	Redução/deslocamento do consumo com perda agregada	55
6.4	Curva de oferta de RD pela rota redução/deslocamento do consumo	56
7.	Consolidação do potencial total	57
7.1	Introdução	57
7.2	Potencial de resposta da demanda sem geração própria	58
7.3	Potencial de resposta da demanda com geração própria	60
7.4	Cálculo do benefício social	63
8.	Conclusões	64
	Referências	66
	Anexo A – Tabelas e Gráficos Complementares ao Capítulo 2	69
	Anexo B – Análise dos segmentos em relação às perguntas de avaliação de aceitabilidade	72
	Anexo C – Cálculos associados aos custos de acionamento e sobre acionamento do gerador a diesel	77
	Anexo D – Sensibilidades	82

Lista de figuras

Figura 1 – Correspondência entre as atividades dos boletins da CCEE e os setores industriais analisados neste relatório	12
Figura 2 – Classes de perfis de consumo horário	16
Figura 3 – Tempo em que as cargas industriais têm consumo inferior a 5% da média	18
Figura 4 – Consumo elétrico no Brasil em 2019	20
Figura 5 – Autoprodução por fonte energética no setor de ferro gusa e aço, em 2021	37
Figura 6 – Receita Líquida (R\$ mil) – Serviços de Hosting de Servidores ou Data Center	39
Figura 7 – Consumo específico de unidades geradoras a diesel, segundo seu tamanho	43
Figura 8 – Disposição da indústria a oferecer o produto demanda de ponta a partir de geração própria	51
Figura 9 – Disposição da indústria a oferecer o produto demanda média a partir de geração própria	51
Figura 10 – Disposição da indústria a oferecer os produtos “demanda de ponta” e “demanda média” a partir de redução/deslocamento do consumo	56
Figura 11 – Curvas de demanda de produtos de RD no Brasil	57
Figura 12 – Cruzamento das curvas de oferta e demanda para os produtos de RD sem considerar a rota de geração própria	59
Figura 13 – Curvas de oferta para os produtos de RD, considerando as rotas de geração própria e de redução/deslocamento do consumo	61
Figura 14 – Cruzamento da curva de oferta e demanda para o produto demanda de ponta, considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria	61
Figura 15 – Ilustração do conceito de excedente econômico.	63
Figura 16 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 25% da demanda média diária no ano	70
Figura 17 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 50% da demanda média diária no ano	71

Lista de tabelas

Tabela 1 – Lista de cargas consideradas para o setor cloro	13
Tabela 2 – Lista de datacenters considerados	14
Tabela 3 – Resumo dos setores industriais: Demanda elétrica	15
Tabela 4 – Consumo de cada setor industrial no ACL (2019) por grupo de perfil (MWmed)	16
Tabela 5 – Consumo de cada setor industrial em 2019 por grupo de perfil (%)	17
Tabela 6 – Distribuição da demanda setorial por submercado (MWmed)	19
Tabela 7 – Distribuição das cargas por setor e submercado	19
Tabela 8 – Resumo dos setores industriais: Quantidades totais produzidas	23
Tabela 9 – Resumo dos setores industriais: Consumos específicos	24
Tabela 10 – Resumo dos setores industriais: Receitas e custos totais e unitários	27
Tabela 11 – Resumo dos setores industriais: Componentes de custo	28
Tabela 12 – Custo de déficit para os diferentes setores industriais	30
Tabela 13 – Lista de perguntas para avaliação das limitações de aceitabilidade	32
Tabela 14 – Respostas possíveis para as perguntas de avaliação da aceitabilidade	32
Tabela 15 – Análise dos segmentos em função das perguntas para análise de avaliação de limitações de aceitabilidade	33
Tabela 16 – Multiplicador de aceitabilidade para cada subsegmento sob análise	33
Tabela 17 – Afundamento do consumo no horário de pico	36
Tabela 18 – Consumo específico médio apresentado no relatório 2 versus consumo específico demandado do setor elétrico	37
Tabela 19 – Distribuição da origem da energia elétrica utiliza para indústria do segmento do aço	38
Tabela 20 – Resumo das características por nível de Tier	40
Tabela 21 – Premissa consolidada de geração própria disponível	42
Tabela 22 – Premissas gerais utilizadas para o cálculo do custo de acionamento do gerador a diesel	43
Tabela 23 – Premissas de consumo específico da geração própria	44
Tabela 24 – Custo associado à eletricidade em 4 óticas diferentes	44

Tabela 25 – Custo de acionamento do gerador a diesel existente	45
Tabela 26 – Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel existente	45
Tabela 27 – Remuneração fixa anual exigida pela rota de geração própria existente	46
Tabela 28 – Remuneração fixa anual exigida pela rota de nova geração própria	47
Tabela 29 – Principais parâmetros relacionados implementação de plantas de geração distribuída	49
Tabela 30 – Fatores de distribuição da capacidade de geração própria entre faixas de potência de geradores	50
Tabela 31 – Estimativa do percentual da carga capaz de oferecer resposta da demanda pela rota redução/deslocamento sem perda de produção	53
Tabela 32 – Custos para ofertar os produtos média e ponta a partir da rota redução/deslocamento sem perda de produção	55
Tabela 33 – Custos para ofertar os produtos média e ponta a partir da rota redução/deslocamento com perda de produção	56
Tabela 34 – Quantidades ofertadas dos produtos de RD por setor e rota (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria)	59
Tabela 35 – Quantidades ofertadas dos produtos de RD por setor e rota (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria)	62
Tabela 36 – Benefício social dos produtos ponta e média	63
Tabela 37 – Quantidades e preços para os produtos ponta e média	64
Tabela 38 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 5% da demanda média diária no ano	69
Tabela 39 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 25% da demanda média diária no ano	70
Tabela 40 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 50% da demanda média diária no ano	71
Tabela 41 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 1	72
Tabela 42 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 2	73
Tabela 43 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 3	74
Tabela 44 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 4	74

Tabela 45 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 5	75
Tabela 46 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 6	75
Tabela 47 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 7	76
Tabela 48 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 8	76
Tabela 49 – Premissas para o cálculo do custo com eletricidade da carga industrial	77
Tabela 50 – Tarifas da Distribuidora	78
Tabela 51 – Metodologia de cálculo de aplicação de impostos e desconto de energia incentivada especial nas tarifas da distribuidora e preço da energia	78
Tabela 52 – Metodologia de cálculo da demanda e consumo de energia elétrica	79
Tabela 53 – Valores com impostos das tarifas da distribuidora e preço da energia no ACL	79
Tabela 54 – Custo associado a cada tarifa e preço e da energia	79
Tabela 55 – Resultados dos custos totais e custos unitários associados a carga industrial genérica	80
Tabela 56 – Cálculo custo de locação do gerador	80
Tabela 57 – Premissas utilizadas no cálculo da tabela Price	80
Tabela 58 – Equações para o cálculo do valor das parcelas e custo anual com o gerador, Custo compra	81
Tabela 59 – Resultados tabela Price e custo anual de aquisição do gerador novo	81
Tabela 60 – Quantidades ofertadas: sensibilidade conservadora (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria)	83
Tabela 61 – Quantidades ofertadas: sensibilidade conservadora (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria)	84
Tabela 62 – Quantidades ofertadas: sensibilidade otimista (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria)	85
Tabela 63 – Quantidades ofertadas: sensibilidade otimista (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria)	86

1. Introdução

Ao longo dos últimos anos, o Sistema Elétrico Brasileiro tem experienciado mudanças no padrão de consumo, decorrentes de uma maior eletrificação da economia, diferentes perfis de consumo industrial e maior uso de eletrodomésticos. Além das mudanças do perfil do lado da demanda, também se verifica forte alteração dos perfis de geração do sistema devido ao aumento significativo na participação das chamadas “fontes de produção variáveis” na matriz elétrica. Este crescimento foi causado por fatores como a forte queda de custos de implantação de usinas solares e eólicas, surgimento de novos modelos de negócios nos mercados cativo e livre, redução de prazos de construção e uma menor complexidade no licenciamento ambiental.

Por outro lado, a construção de novas usinas hidrelétricas (UHEs), fonte de uma energia renovável altamente flexível e que pode ser armazenada nos reservatórios, vem se mostrando um grande desafio por preocupações relativas aos seus impactos econômicos e socioambientais.

Esta combinação de perfis de produção e consumo muito variáveis vêm exigindo recursos capazes de prover flexibilidade operativa ao sistema para assegurar uma boa adequabilidade e confiabilidade de suprimento de energia. Fenômenos macro climáticos adversos também demandam esta flexibilidade, uma vez que secas severas podem demandar o acionamento de recursos que ora não seriam necessários em hidrologias normais.

Neste contexto, a resposta pela demanda é um mecanismo bastante conhecido e amplamente utilizado para balancear a oferta e a demanda em sistemas elétricos através da redução ou deslocamento do consumo de energia em momentos críticos.

No entanto, apesar da existência de estruturas regulatórias conhecidas e disponibilidade tecnológica para aplicação do mecanismo, uma possível barreira de entrada para este é o custo envolvido na redução de consumo e o efetivo potencial de redução das atividades eletrointensivas que poderiam participar do eventual mecanismo (geralmente atividades ligadas ao setor industrial). Por exemplo, os custos para um consumidor reduzir seu consumo por 3 horas ao dia por 6 dias são diferentes daqueles para se reduzir x% de seu consumo durante 3 dias. Portanto, a implementação de novos tipos de produto no mercado deve levar em consideração os investimentos envolvidos para cada aplicação seja no curto, médio ou longo prazo, ou seja, há necessidade de regulamentação adequada e estável e que leva em consideração o contexto das atividades industriais de cada sistema.

No Brasil, a implantação deste mecanismo foi primeiramente proposta em 2017, através de um projeto piloto para que fosse avaliada a inserção de resposta da demanda por “clientes despacháveis” no Sistema Elétrico Brasileiro. Este projeto teve início em 2018, mas, por uma série de questões na sua implementação, não obteve grande adesão por parte dos consumidores.

Mais tarde, em 2021, para combater a escassez energética vivida pelo país, foi implantando o programa de Redução Voluntária da Demanda. Já em 2022, a ANEEL abriu a Consulta Pública nº 80 visando a evolução do programa piloto para um programa estrutural. Com base no sucesso do programa RVD, a nova regulamentação estrutural se deu em agosto de 2022, instituindo produtos de resposta da demanda.

Logo, a fim de contribuir para o processo de modernização do Sistema Elétrico Brasileiro, no âmbito da “Parceria Energética Brasil-Alemanha”, a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH, em conjunto com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), contrataram a PSR e a MITSIDI para o desenvolvimento do estudo “Potencial técnico, econômico e de mercado da resposta da demanda com foco no setor industrial brasileiro”. Este estudo será composto por sete cadernos:

- **Caderno 1:** Análise de experiências internacionais de resposta da demanda;
- **Caderno 2:** Produtos de resposta da demanda aplicáveis a industriais energo-intensivos;
- **Caderno 3:** Análise de flexibilidade, receitas e custos, rotas de resposta da demanda (RD) e adequação aos produtos de RD;
- **Caderno 4:** Necessidade de resposta da demanda para o sistema no futuro;
- **Caderno 5:** Metodologia para análise de potencial industrial;
- **Caderno 6:** Possíveis barreiras à resposta da demanda no Brasil;
- **Caderno 7:** Relatório final.

Os estudos e análises realizados em cada caderno, em conjunto, têm como objetivo fornecer uma visão holística sobre os mecanismos de resposta da demanda, sua adequabilidade de aplicação no contexto brasileiro, e o potencial de adesão do mercado a estes.

O presente relatório corresponde ao Caderno 5, que analisa o potencial da indústria brasileira de prover os produtos de resposta da demanda previamente definidos no Caderno 2. Este potencial é determinado com base na análise da aplicabilidade dos produtos mencionados às indústrias, apresentada no Caderno 3, e na disposição de contratação do ponto de vista do sistema, calculada a partir da simulação do sistema, apresentada no Caderno 4.

1.1 Organização do relatório

Este relatório conta com oito capítulos. Além do presente capítulo introdutório, temos:

- O capítulo 2 apresenta uma caracterização dos segmentos industriais selecionados com base nos seus perfis de demanda por eletricidade.
- O capítulo 3 faz uma análise de dados “macro” dos setores industriais de diferentes fontes, relacionando o consumo elétrico do setor com a sua capacidade econômica e produtiva.
- O capítulo 4 traz uma síntese do paradigma esperado do comportamento da indústria, funcionando como uma introdução à metodologia que será aplicada nos capítulos 5 e 6 – que constituem o cerne da aplicação da metodologia quantitativa do presente relatório.
- O capítulo 5 discute e aplica a metodologia de elaboração da curva de oferta para iniciativas de resposta de demanda que envolvem o uso de geração própria atrás do medidor.
- O capítulo 6 discute e aplica a metodologia de elaboração da curva de oferta para iniciativas de resposta de demanda que envolvam o deslocamento (ou, possivelmente, a interrupção) da produção industrial.
- O capítulo 7 consolida as curvas de oferta construídas nos capítulos 5 e 6, e chega a uma estimativa final do potencial de resposta de demanda, a partir do cruzamento dessas curvas com a curva de demanda construída no caderno 4.
- O capítulo 8 conclui com um resumo da metodologia adotada, resultados obtidos e principais ressalvas.

Além destes, os capítulos apresentam-se, também, as referências deste trabalho e os anexos A, B, C e D.

2. Análise dos perfis de demanda elétrica

Conforme os termos de referência deste projeto, a estimação do potencial de resposta de demanda neste relatório será feita para 8 segmentos industriais energo-intensivos no Brasil, a saber: aço, alimentos & bebidas, alumínio, cimento, cloro, *datacenters*, papel e saneamento. Foi feita ainda uma subdivisão do segmento de alumínio (em “alumínio primário” e “alumínio processado”) e do segmento de alimentos & bebidas (em “carne”, “cerveja”, “laticínios” e “outros”), de modo a capturar melhor as diferenças nas características de demanda desses subgrupos.

Este capítulo tem por objetivo analisar os perfis de consumo elétrico das empresas atuantes em cada um desses 8 segmentos (e subdivisões), o que servirá de insumo para a estimação do potencial de demanda nos capítulos seguintes.

2.1 Dados disponíveis e limitações

A principal fonte de informação utilizada para análise dos perfis de demanda foram os “Boletins de Dados Horários de Consumo”, disponibilizados pela CCEE mensalmente em seu acervo [1]. Estes boletins apresentam, para cada uma das cargas presentes no sistema elétrico brasileiro:

- Nome e código da carga
 - CNPJ associado
 - Cidade, estado e submercado
 - Tipo de agente (“autoprodutor”, “comercializador”, “consumidor especial”, “consumidor livre”, “distribuidor” ou “exportador”)
 - Distribuidora associada (exceto se a carga já for um distribuidor)
 - Para cargas no ambiente de contratação livre (ACL), a respectiva atividade, que pode ser “alimentícios”, “bebidas”, “comércio”, “extração de minerais metálicos”, “madeira, papel e celulose”, “manufaturados diversos”, “metalurgia e produtos de metal”, “minerais não-metálicos”, “químicos”, “saneamento”, “serviços”, “telecomunicações”, “têxteis”, “transporte” ou “veículos”
 - Carga contratada (MW) e Consumo elétrico (em MWh) a cada hora e dia do mês do Boletim
- Foram utilizados os boletins dos 12 meses de 2019, ano anterior à pandemia do coronavírus, de modo a não capturar os possíveis efeitos que esta possa ter tido sobre os padrões de consumo elétrico da indústria. Considerou-se que esta abordagem minimiza os erros de representação.
- Uma vez que a classificação em “atividades” utilizada nos boletins da CCEE não corresponde exatamente aos 8 segmentos industriais de interesse para este projeto, foram necessárias certas reclassificações e filtrações. A Figura 1 ilustra as correspondências realizadas, que são explicadas a seguir:
- Dentre as cargas classificadas dentro da atividade “alimentícios” nos boletins da CCEE, foram buscadas aquelas cujo nome e/ou código continham termos-chave que remetiam ao setor de carne – tais como “frigorífico”, “carne”, “boi” e similares – ou se referiam às maiores empresas do setor – a saber, JBS, MARFRIG, BRF, MINERVA, FRIMESA e SEARA. Essas cargas foram classificadas dentro do setor de carne.
 - Uma metodologia similar foi usada para o setor de laticínios – usando os termos-chave “laticínios”, “leite”, “lácteo(a)”, “queijo” e similares e empresas como “Danone”, “Vigor”, “Embaré” e “Forno de Minas”.
 - O número de cargas classificadas dentro da atividade de “bebidas” nos boletins da CCEE é relativamente pequeno (da ordem de 200 cargas), de modo que foi possível realizar uma inspeção carga a carga para identificar as que pertenciam a empresas do setor de cerveja, a saber: Ambev, Cerpa Cervejaria, Cervejaria Bamboa, Cervejaria Cidade Imperial Petrópolis, Cervejaria Petrópolis, Companhia Brasileira de Bebidas Premium e Heineken.
 - As outras cargas dentro das atividades “alimentícios” e “bebidas” (que não tenham sido reclassificados como “carne”, “laticínios” ou “cerveja”) foram agrupados dentro de uma mesma classe “alimentos – outros”.

1 A distinção é que as empresas de alumínio processado produzem transformados de alumínio (placas, tubos, vergalhões e itens diversos para uso final), a partir do alumínio primário.

Atividades CCEE	Setores utilizados	Atividades CCEE	Setores utilizados
Alimentícios	Laticínios	Telecomunicações	Datacenters
	Carne		
Bebidas	Alimentos - outros	Serviços	
	Cerveja		
Saneamento	Saneamento	Químicos	Cloro
Madeira, papel e celulose	Papel		
Metalurgia e produtos de metal	Aço	Minerais não-metálicos	Cimento
	Alumínio Processado		
	Alumínio Primário		

Figura 1 – Correspondência entre as atividades dos boletins da CCEE e os setores industriais analisados neste relatório.

- Todas as cargas das atividades de “saneamento” e “madeira, papel e celulose” foram mantidas dentro dos setores de “saneamento” e “papel”, respectivamente.
- Para o setor de aço, foram identificadas as cargas (dentro da atividade de “metalurgia e produtos de metal”) cujo nome e/ou código continham “siderurgia” (ou “siderúrgica”), ou os nomes das principais empresas do setor: ArcelorMittal, Gerdau, Ternium e Usiminas.
- Para alumínio, os termos-chave utilizados para busca foram “alumínio”, “alumina” e afins, além de termos relacionados às empresas: Albras, Alcast, Alcoa, Companhia Brasileira de Alumínio, Hydro extrusion, Ibrame, Novelis e Termomecânica. As duas cargas da Companhia Brasileira de Alumínio e a unidade da Albras de Barcarena foram classificadas como alumínio primário – como indicado no Caderno 2, essas são as únicas fábricas no Brasil de alumínio primário. As outras cargas filtradas foram incluídas no segmento de alumínio processado.
- Para o segmento de cloro, buscaram-se, dentro do setor de químicos da CCEE, as cargas das principais empresas do setor, identificadas no Caderno 2 (“Produtos de RD aplicáveis a indústrias energo-intensivas”). Assim, foram identificadas 7 cargas, indicadas na Tabela 1 junto a seu código nos boletins da CCEE. Para cimento, foram adotadas todas as cargas dentro da atividade de “minerais não metálicos” com “cimento” ou termos similares no nome, além das empresas Votorantim, Lafarge e Interceмент.
- No caso do segmento de *datacenters*, as buscas nos boletins da CCEE tiveram como base listas de *datacenters* brasileiros encontradas online [2] [3]. Uma parte dos *datacenters* dessa lista estava sob a atividade “telecomunicações” nos boletins da CCEE, outra, sob a classificação “serviços”. Há ainda aqueles datacenters que não puderam ser encontrados nos boletins (talvez por estarem no ACR ou por estarem identificados com outros nomes). A Tabela 2 lista os *datacenters* que puderam ser encontrados e serão considerados para as análises deste relatório, indicando também o código das cargas associadas nos boletins da CCEE de 2019, para que possa ser utilizada como referência para trabalhos futuros que utilizem a mesma base de dados.

2 Vale mencionar o caso da empresa CMPC Celulose Riograndense, que, conforme visto no Caderno 2, possui capacidade de produção de cloro. No entanto, para efeitos deste Caderno 5, foi classificada dentro do setor de Papel e Celulose. Outro fato que merece registro é que a carga da Katrium está classificada dentro da atividade de “Comércio” nos Boletins da CCEE.

Tabela 1 – Lista de cargas consideradas para o setor cloro.

Empresa	Cidade	Estado	Código da Carga
Braskem	Maceió	AL	7519
Chemtrade	Aracruz	ES	7008
Dow Brasil	Aratu	BA	70870
Katrium	Rio de Janeiro	RJ	70815
Compass Minerals	Igarassú	PE	71218
Unipar Indupa	Santo André	SP	7052
Unipar Carbocloro	Cubatão	SP	7488

Vale salientar que muitas das cargas listadas nos boletins da CCEE não se enquadram em nenhum dos oito segmentos industriais a serem analisados neste projeto e, portanto, não foram consideradas. Em particular, nenhuma das cargas das atividades “têxteis”, “transporte”, “veículos”, “extração de minerais metálicos”, e “manufaturados diversos” foram consideradas. Além disso, diversas cargas dentro das atividades de “metalurgia e produtos de metal”, “telecomunicações”, “serviços”, “químicos” e “minerais não metálicos” também não foram utilizadas – o que é representado na Figura 1 por quadros maiores para estas atividades do que para os respectivos “setores utilizados”.

Em resumo, podemos elencar como principais limitações dos dados:

- Apenas cargas no ACL puderam ser identificadas com os respectivos setores a partir dos Boletins da CCEE. Para estimar a carga fora do mercado livre, foi utilizado o anuário estatístico da EPE para o ano de 2019 [4], que apresenta o consumo global de cada segmento industrial, sem distinguir entre mercado livre e cativo. Assumiu-se, então, que a diferença entre o consumo industrial divulgado pela EPE e pela CCEE equivale à demanda no ACR. Há alguma incerteza nessa metodologia, mas foi possível validar que os números da EPE e da CCEE são muito próximos para os setores em que a quase totalidade das indústrias participam do ACL (como é o caso do setor de cimento, do setor de “Metalurgia e produtos de metal” – ao qual os setores de aço e alumínio pertencem, e do setor “Químicos” – ao qual o setor de cloro pertence) – sugerindo que a metodologia tem algum grau de robustez.
- Devido à categorização de segmentos industriais adotada, distinta da utilizada nos boletins da CCEE, a maior parte dos setores (à exceção de saneamento, papel e alimentos-outros) foi classificada individualmente pela lista de empresas ou pelo uso de termos-chave. Apesar de ser uma metodologia imperfeita, que pode ter deixado algumas cargas de interesse fora da análise (ou mesmo classificado algumas cargas nos setores errôneos), as principais empresas dos setores de interesse foram consideradas e eventuais erros ou omissões não devem alterar significativamente as conclusões deste relatório.
- A principal ressalva é provavelmente o segmento de *datacenter*. Aqui, as cargas foram selecionadas a partir de listas que incluíam o nome da empresa e a localização do *datacenter*. No entanto, muitas dessas empresas, principalmente as relacionadas ao setor bancário e de telefonia, possuem mais de uma carga por cidade e é possível que algumas delas não estejam associadas a *datacenters*, mas a outras atividades da companhia – algumas dessas cargas foram excluídas na medida do possível³. Além disso, não há dado no anuário estatístico da EPE para estimar a porcentagem do segmento fora do mercado livre. Apenas cerca de 40% da demanda do setor mais amplo de “Telecomunicações” participam do mercado livre (e 60% estariam no mercado regulado), ao considerar os dados da EPE e CCEE – entretanto, como o subsetor de *datacenters* tem características mais energointensivas, é de se esperar que a sua participação no mercado livre seja maior. Com base na lista de *datacenters* ativos na CCEE que os consultores foram capazes de identificar, estimou-se que 20% da demanda desta atividade estaria fora do mercado livre.
- Para o segmento de papel, não foi possível separar, dentro do setor de “madeira, papel e celulose” dos boletins da CCEE, as unidades de madeira das unidades de papel e de celulose. Embora isto represente uma dificuldade para algumas análises macro (vide capítulo 2), visto que a EPE utiliza a mesma classificação foi possível identificar uma fração de atuação fora do mercado livre para este segmento como um todo (da ordem de 10%).

Tabela 2 – Lista de *datacenters* considerados.

Empresa	Cidade	Estado	Códigos das cargas
Algar ³	Campinas	SP	904155
	Franca	SP	71160
	Patos de Minas	MG	71014
	Uberaba	MG	900078
	Uberlândia	MG	71015, 71016, 899204 e 902918
Ascenty	Campinas	SP	900011
	Hortolândia	SP	906386
	Jundiaí	SP	907846
Ativas	Belo Horizonte	MG	899064
Claro-COPEL	Cascavel	PR	906214
	Curitiba	PR	904470, 904725, 904745 e 904747
	Maringá	PR	904746
	Paranaguá	PR	904471
	Ponta Grossa	PR	904748
DC Matrix	São Paulo	SP	906876
Equinix	Barueri	SP	922763
	Rio de Janeiro	RJ	70813 e 908851
	São Paulo	SP	91622 e 901639
	Santana de Parnaíba	SP	919255
Itaú	Moji Mirim	SP	899466
Locaweb2	São Paulo	SP	903842
Santander	Campinas	SP	905580
Tivit	Rio de Janeiro	RJ	905502 e 907362
	São Paulo	SP	905557 e 906251
Vivo/Telefônica	Barueri	SP	70110
	Santana de Parnaíba	SP	901017

A Tabela 3 apresenta uma síntese dos resultados da análise, identificando para cada setor o número de cargas identificadas nos Boletins da CCEE; o correspondente consumo no ano de 2019 no ACL (em MWmed); o percentual da demanda fora do ACL estimado conforme descrito acima; e o consumo total (incluindo ACL e ACR) resultante de aplicar tal porcentagem.

3 As cargas de Código 71003, 71004, 913299 e 913334, associadas à Algar, não foram consideradas. Isso porque seus perfis de consumo horário apresentavam variações significativas ao longo do dia, com um consumo maior no horário de ponta, o que levou à suposição de que estas cargas estariam mais associadas a atividades comerciais da empresa. Pelo mesmo motivo, as cargas 891121, 891124, 910415 e 914378, associadas ao banco Santander em Campinas também foram excluídas da análise.

Tabela 3 – Resumo dos setores industriais: Demanda elétrica.

Atividade	Número de cargas	Demanda CCEE 2019 (MWmed)	Estimativa % mercado regulado	Estimativa demanda setor (MWmed)
Saneamento	205	266.5	80%	1332.7
<i>Datacenter</i>	36	70.2	20%	87.7
Alumínio primário	3	1031.9	0%	1031.9
Alumínio processado	61	312.0	0%	312.0
Aço	76	1720.3	0%	1720.3
Cloro	7	369.1	0%	369.1
Cimento	84	605.7	0%	605.7
Papel	435	1241.4	10%	1379.3
Alimentos – carne	288	539.2	25%	719.0
Alimentos – cerveja	64	162.8	16%	193.8
Alimentos – laticínios	90	78.1	25%	104.1
Alimentos – outros	1548	1315.3	24%	1740.5
Total	2897	7712.5	20%	9596.2

2.2 Classificação em perfis horários

Para cada uma das cargas pertencentes aos setores de interesse (sem considerar o ACR, dado não há dados de consumo para empresas individuais no ACR nos Boletins da CCEE, como explicado na seção), foi calculado o perfil de consumo diário médio ao longo de 2019, isto é, a média do consumo para cada uma das 24 horas do dia (ao longo do ano). Os perfis foram então classificados em três grandes grupos:

- Perfil “*Flat*”: o consumo horário é essencialmente constante ao longo do dia;
- Perfil “Afundado”: observa-se uma redução significativa do consumo elétrico próximo às horas de pico do sistema (entre 18h e 21h, geralmente);
- Perfil “Perfilado”: corresponde a perfis que não podem ser classificados nas categorias acima. Geralmente apresentam uma subida de consumo entre 7h e 9h e uma queda ao fim do dia.

A Figura 2 apresenta exemplos de cargas que foram classificadas de acordo aos três grupos acima. Nesta figura, o consumo está “normalizado” em relação à média – isto é, um valor de 1.2 em dada hora, por exemplo, significa que a carga possui um consumo naquela hora 20% maior que seu consumo médio do ano.

A identificação de perfis tem implicações na análise de resposta da demanda. Perfis “flat” podem estar associados a processos industriais menos flexíveis, cuja demanda elétrica dificilmente se reduz ou desloca entre horas. Já dentro da classificação “perfilado”, iniciativas de deslocamento da produção de horas de ponta para horas fora de ponta, por exemplo, tendem a ser adotadas mais facilmente. Vale a ressalva de que isso não significa que não há nenhum potencial de RD em cargas *flat*: o desligamento de máquinas, reprogramação do calendário de manutenção de equipamentos, ou outras estratégias para aumentar a flexibilidade da produção podem ser implementáveis.

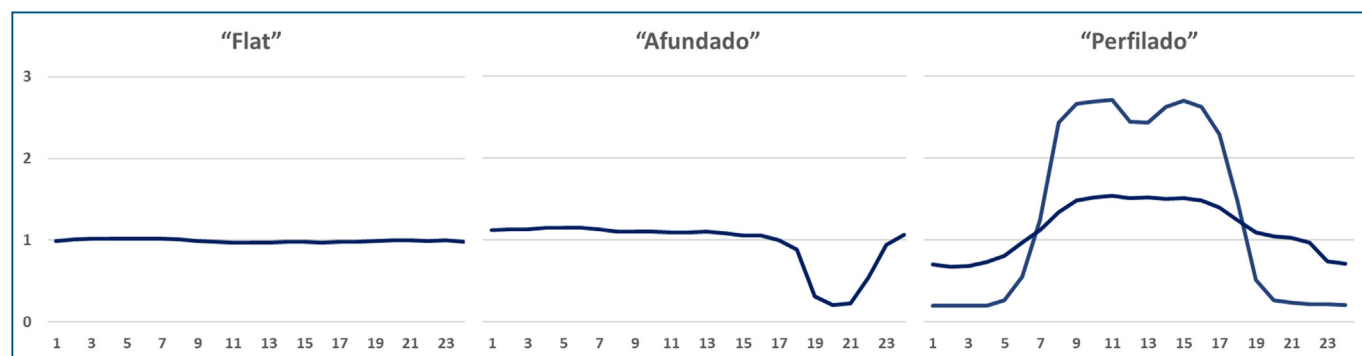


Figura 2 – Classes de perfis de consumo horário.

Sobre o perfil afundado, vale destacar que em geral ele revela a existência de algum gerador próprio para suprir a demanda de eletricidade da indústria nas horas em que se observa a redução no consumo. A existência de consumidores que investem em geradores a diesel com a finalidade de evitar o consumo na ponta é conhecida do setor elétrico brasileiro – em 2015, a EPE estimou uma capacidade instalada total entre 7 e 9 GW de geradores atrás do medidor prestando este serviço [5]. O benefício é de magnitude especialmente elevada para consumidores conectados na média tensão (nível A4) na modalidade de suprimento tarifa verde. Entretanto, consumidores de grande porte podem se beneficiar de geração própria se conseguirem reduzir a sua *demanda contratada* no horário de ponta (ou seja, a potência máxima em MW que eles poderão consumir da rede de forma instantânea).

Em geral, cada setor possui cargas em cada um dos três grupos de perfil horário. A divisão das cargas por setor e perfil pode ser observada na Tabela 4 (tendo por base o trabalho de identificação das cargas relevantes nos boletins da CCEE explicado na seção). Ela mostra o consumo de cada setor no ano de 2019 (no ACL), em MWmed (considerando somente as cargas presentes nos 12 Boletins da CCEE), dividido entre as cargas de cada perfil. Por exemplo, o setor de aço consumiu 1716 MWmed no ano de 2019 (no ACL), dentre os quais 1271 MWmed correspondem a cargas com um perfil “flat”, 439 MWmed a cargas com perfil “afundado”, e 5 MWmed ao “perfilado”.

A Tabela 5 mostra a mesma informação, mas em porcentagem. Isto é, para cada setor (nas colunas), o quanto de seu consumo é representado por cargas “flat”, “afundadas” e “perfiladas”. Uma escala de cor é usada – verde representa porcentagens maiores, e vermelho, menores.

Tabela 4 – Consumo de cada setor industrial no ACL (2019) por grupo de perfil (MWmed)⁴.

	AÇO	ALIMENTOS - CARNE	ALIMENTOS - CERVEJA	ALIMENTOS - LATICÍNIOS	ALIMENTOS - OUTROS	ALUMÍNIO - PRIMÁRIO	ALUMÍNIO - PROCESSADO	CIMENTO	CLORO	DATA CENTER	PAPEL	SANEAMENTO	Total
Flat	1,271	369	157	56	932	1,032	299	45	369	65	1,033	206	5834
Afundado	439	31	0.4	13	105	-	2	554	-	4	150	23	1321
Perfilado	5	127	4	8	221	0.2	9.7	6	-	-	46	16	444
Total	1716	527	161	77	1,258	1032	311	605	369	68	1230	245	7599

4 Os totais são um pouco distintos dos valores mostrados na Tabela 3, pois a Tabela 4 considera apenas as cargas presentes em todos os 12 boletins da CCEE para o ano de 2019 (um boletim para cada mês), enquanto a Tabela 3 considera também cargas que estiveram presentes apenas em alguns meses do ano.

Tabela 5 – Consumo de cada setor industrial em 2019 por grupo de perfil (%).

	AÇO	ALIMENTOS - CARNE	ALIMENTOS - CERVEJA	ALIMENTOS - LATICÍNIOS	ALIMENTOS - OUTROS	ALUMÍNIO - PRIMÁRIO	ALUMÍNIO - PROCESSADO	CIMENTO	CLORO	DATACENTER	PAPEL	SANEAMENTO	Total
Flat	74%	70%	97%	73%	74%	99.98%	96%	8%	100%	94%	84%	84%	77%
Afundado	26%	6%	0.2%	16%	8%	-	1%	92%	-	6%	12%	9%	17%
Perfilado	0.3%	24%	3%	10%	18%	0.02%	3%	1%	-	-	4%	7%	6%

Vale observar que a classificação das cargas em grupos de perfis de demanda, mostrada nas duas tabelas acima, foi realizada somente para aquelas cargas presentes nos 12 boletins mensais (um para cada mês) do ano de 2019 – excluindo aquelas que aparecem em 11 ou menos meses. Algumas das conclusões advindas da análise das tabelas acima:

- A maior parte (77%) da demanda industrial nacional apresenta consumo “flat” ao longo do ano. Já o grupo “perfilado” representa uma parcela bastante pequena da indústria (6%).
- O setor de cloro apresenta 100% de sua demanda “flat”. Outros setores que também apresentam quase a totalidade de sua demanda “flat” são alumínio (99%, juntando os segmentos processado e primário), cerveja (97%) e datacenters (94%), o que pode significar menor flexibilidade dos processos industriais para resposta da demanda desses setores.
- Quase a totalidade (92%) do consumo do setor de cimento apresenta consumo “afundado”. Os outros setores possuem uma porcentagem bastante menor do seu consumo classificada com o perfil “afundado” – os destaques vão para o setor de aço, com 26% do consumo nesse grupo, laticínios (16%), papel (12%) e saneamento (9%).
- 89% do consumo classificado como “perfilado” pertence aos setores de “alimentos – outros” (50%), “alimentos – carne” (29%) e “papel” (10%).

Uma outra observação é que o consumo nacional classificado como perfil “afundado” apresenta um relativo grau de concentração: 3% das cargas com perfil afundado representam praticamente 30% dos 1321 MW med consumidos pelas cargas com este perfil. Estes 3% correspondem a 7 cargas: 5 se encontram no setor de aço, 1 no setor de cimento e 1 no setor de papel.

2.3 Dias de menor consumo

Outra informação relevante para estimar o potencial de demanda dos diferentes setores industriais e que pode ser extraída dos dados dos Boletins da CCEE é com que frequência há interrupções da carga ao longo do ano. Por exemplo, se uma unidade fabril precisa interromper sua carga por alguns dias para manutenção, talvez seja possível coordenar essa parada para que coincida com períodos em que o sistema elétrico esteja mais sobrecarregado.

A informação obtida dos Boletins da CCEE é resumida no gráfico da Figura 3. Cada ponto do grid representa um setor (no eixo das ordenadas) e um número de dias (no eixo das abscissas) e a escala de cores mostra qual porcentagem da demanda daquele setor fica “parada” ou mais dias ao longo do ano com variando de 1 a 100. Por exemplo, olhando para o setor de aço, podemos ver que entre 12% e 18% da demanda do setor fica “parada” por pelo menos 5 dias do ano (já que a cor deste ponto é azul); entre 6% e 12% têm a carga interrompida por pelo menos 20 dias (cor vermelha); e menos de 6% tem o consumo interrompido por 30 ou mais dias (cor laranja).

A porcentagem da demanda que é interrompida por ou mais dias é decrescente com o valor de , o que pode ser visto no gráfico – que fica cada vez mais laranja à medida que se anda para a direita. Uma observação importante: em realidade, para efeitos deste gráfico, consideramos que uma carga fica “parada” em certo dia quando seu consumo é inferior a 5% do seu consumo diário médio do ano.

Os setores de alumínio (primário e processados), carne, cerveja, *datacenter* e laticínios são os que com menos frequência interrompem sua carga: menos de 6% das cargas do setor são interrompidas (isto é, caem em mais de 95%) em algum dia do ano. Já o setor de cloro é aquele com uma maior porcentagem (quase 50%) da demanda interrompida por pelo menos um dia, seguido pelos segmentos de papel (32%), “alimentos – outros” (27%) e aço (16%).

No setor de cimento, 11% da demanda é interrompida durante pelo menos 1 dia do ano. No entanto, é incomum que esta “parada” dure mais de 5 dias – somente 2% da demanda de cimento fica mais de 5 dias com demanda inferior a 5% da média.

O “Anexo A - Tabelas e Gráficos Complementares ao

Capítulo 2” mostra o gráfico acima em formato de tabela. Mostra também gráficos similares, mas considerando o tempo em que as cargas industriais apresentam consumo inferior a 25% e 50% da média – ao invés de 5%, como na Figura 3. Essas informações serão utilizadas no capítulo 6 para estimar o potencial de resposta da demanda dos diversos setores industriais.

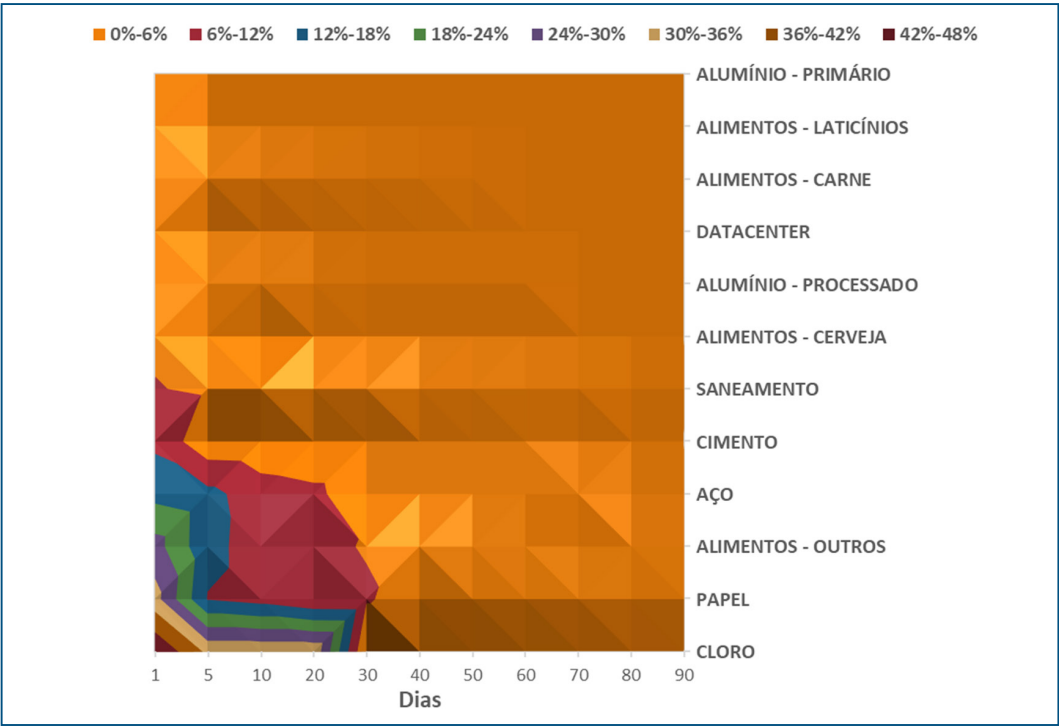


Figura 3 – Tempo em que as cargas industriais têm consumo inferior a 5% da média.

2.4 Divisão regional

A Tabela 6 mostra o consumo de cada setor no ano de 2019, em MWmed, segundo as informações dos boletins da CCEE (mesma informação da Tabela 3), dividido entre os submercados do sistema elétrico brasileiro. A Tabela 7 mostra quantas cargas (unidades industriais) estão localizadas em cada região e em cada setor industrial.

Como esperado, a região sudeste é a que apresenta maior atividade industrial, com 4664 MWmed de carga. Seguem-se as regiões Sul (1583 MWmed), Norte (890 MWmed) e Nordeste (576 MWmed). É interessante observar que, apesar da carga maior na região Norte do que no Nordeste, o número de cargas é superior nesta última região (216, quando comparado a 142 da região Norte), o que mostra uma maior intensidade energética (MWmed por unidade fabril) das indústrias da região Norte – em especial no setor de alumínio.

A divisão das cargas entre as regiões, mostrada acima, pode ser importante para localizar o potencial de resposta à demanda da indústria.

Dadas as restrições da rede elétrica, a resposta da demanda pode ser mais valiosa em certas localidades. Nos capítulos seguintes, faremos estimativas do potencial de resposta da demanda a nível nacional. No capítulo 7, serão construídas uma única curva de oferta e uma única curva de demanda de RD, para todo o país, ao invés de uma curva de oferta e uma de demanda por submercado. Entretanto, a metodologia adotada neste relatório pode ser facilmente estendida para estimar potenciais por região.

Vale observar que a demanda total do ACL em 2019 foi de 19156 MWmed, segundo os boletins da CCEE, de modo que os setores de interesse avaliados neste relatório capturam cerca de 40% (7713 MWmed, como observa-se na Tabela 6) do consumo do ACL. Como explicado na seção 2.1, há uma série de outras atividades industriais, tais como a extração de minerais, atividades têxteis, e produção de veículos, que não foram consideradas no escopo deste trabalho.

Tabela 6 – Distribuição da demanda setorial por submercado (MWmed).

	AÇO	ALIMENTOS - CARNE	ALIMENTOS - CERVEJA	ALIMENTOS - LATICÍNIOS	ALIMENTOS - OUTROS	ALUMÍNIO - PRIMÁRIO	ALUMÍNIO - PROCESSADO	CIMENTO	CLORO	DATA CENTER	PAPEL	SANEAMENTO	Total
Nordeste	41	8	43	5	137	-	3	110	146	-	44	37	576
Norte	45	12	10	-	42	613	115	25	-	-	10	18	890
Sudeste	1526	278	90	49	656	419	186	373	223	68	594	203	4664
Sul	108	241	20	24	480	-	7	98	-	2	594	8	1583
Total	1720	539	163	78	1315	1032	312	606	369	70	1241	267	7713

Tabela 7 – Distribuição das cargas por setor e submercado

	AÇO	ALIMENTOS - CARNE	ALIMENTOS - CERVEJA	ALIMENTOS - LATICÍNIOS	ALIMENTOS - OUTROS	ALUMÍNIO - PRIMÁRIO	ALUMÍNIO - PROCESSADO	CIMENTO	CLORO	DATA CENTER	PAPEL	SANEAMENTO	Total
Nordeste	5	3	13	5	129	-	1	16	3	-	23	18	216
Norte	3	15	4	-	77	1	7	6	-	-	13	16	142
Sudeste	60	159	39	55	802	2	42	46	4	28	187	140	1564
Sul	8	111	8	30	540	-	11	16	-	8	212	31	975
Total	76	288	64	90	1548	3	61	84	7	36	435	205	2897

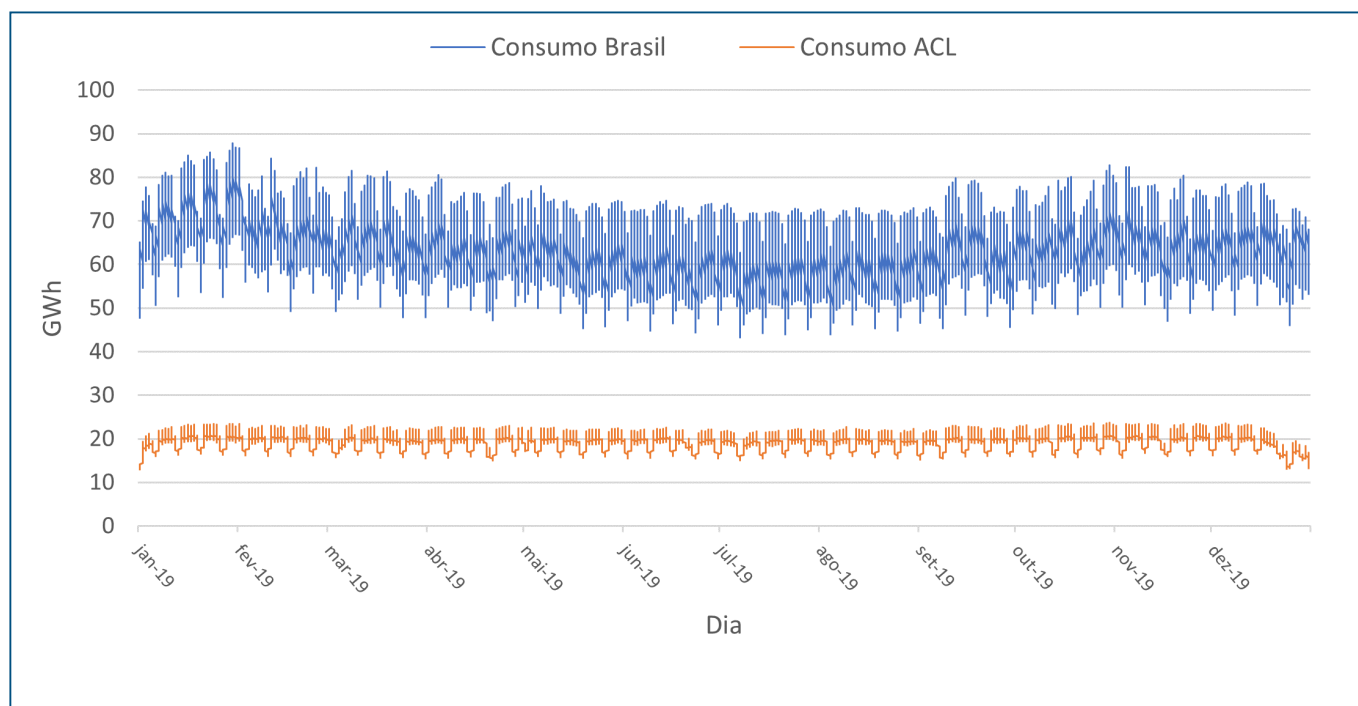


Figura 4 – Consumo elétrico no Brasil em 2019 [1].

2.5 Plano Decenal de Expansão de Energia 2031

Vale comparar o valor de 9596 MWmed de demanda identificados para os setores industriais (Tabela 3) com estimativas utilizadas no setor elétrico brasileiro sobre a possibilidade de inserção de resposta da demanda no sistema. Em particular, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2031 [6] adota a resposta de demanda como uma das opções de expansão, com um potencial máximo considerado de 3000 MW. Nota-se que este valor é pouco menos de um terço dos 9596 MWmed de demanda dos setores considerados neste estudo (e cerca de 16% do consumo industrial total registrado em 2019, de 19 GWmed [4]).

Desse modo, é esperado que o potencial de resposta da demanda encontrado neste Caderno seja inferior aos 3000 MW estimados no PDE, o que se deve, ao menos em parte, ao fato de que analisamos somente uma parte dos setores industriais⁵. Há também outros motivos pelos quais o potencial estimado aqui não deve ser diretamente comparado aos 3000 MW: (i) o candidato de resposta da demanda no estudo do PDE é colocado para competir em condições de igualdade com outras opções tecnológicas para a expansão do sistema – de modo que é de se esperar que apenas uma parte do potencial máximo de 3000 MW seja explorado no equilíbrio ótimo, considerando os custos desta rota tecnológica em comparação com alternativas; (ii) o potencial utilizado no PDE 2031 ainda considera a expansão do consumo industrial no horizonte decenal.

Na representação do PDE, considerou-se para o candidato resposta da demanda um custo de operação e manutenção fixo de 39-151 R\$/kW/ano e um custo variável unitário por acionamento variando de 464 a 1824 R\$/MWh.

A análise do PDE poderá ser refinada com as informações adicionais trazidas por este trabalho – o que constitui uma importante contribuição deste exercício de cálculo do potencial.

5 Não encontramos, no PDE, menção explícita aos setores industriais considerados na sua análise.

3. Análise das quantidades macro

O objetivo do presente capítulo é apresentar validações para uma série de outras grandezas relevantes para uma representação acurada dos setores industriais. Ainda que a demanda elétrica total de cada setor (explorada em detalhe no capítulo 2) seja a principal referência utilizada (já que a unidade de interesse para a representação do potencial de resposta da demanda do ponto de vista do setor elétrico é em MW), um entendimento mais robusto do processo industrial depende de uma análise de como estes montantes de energia se relacionam com a produção física total do setor, e/ou de componentes de receita, custo e de valor agregado. Neste sentido, as grandezas apresentadas na Tabela 3 em termos de demanda elétrica agregada para cada setor de interesse serão particularmente relevantes para as análises do presente capítulo.

3.1 Quantidade total produzida

Para as quantidades totais produzidas, utilizou-se o seguinte procedimento para cada um dos setores de interesse:

- Em primeiro lugar, identificou-se qual a *unidade produtiva* mais adequada para a representação dos montantes totais de produção do setor.
- Em seguida, utilizou-se uma fonte padronizada para obter informações a respeito da produção total na unidade produtiva para a maior parte dos setores – no caso, os dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA) publicada pelo IBGE constituem esta fonte padronizada
- Finalmente, utilizou-se uma fonte especializada específica para cada setor para uma estimativa mais precisa da produção total. Estas fontes especializadas (denominadas “fontes principais”) foram apresentadas no Relatório 2 do presente projeto (e também constam na Tabela 8).

Nota-se que, embora os dados das fontes principais sejam mais confiáveis no geral, é relevante fazer esta análise comparativa – especialmente considerando que dados do IBGE são a melhor fonte para informações relevantes como as receitas e custos totais de cada setor (como apresentado na seção 3.2), e devido ao interesse em manter comparáveis as informações de diferentes anos e diferentes fontes de modo a extrair indicadores relevantes (como será explorado nas seções 3.2 e 3.4).

Em termos de unidade produtiva, nota-se que na maior parte dos setores foi utilizada a tonelada total de produção como principal unidade de referência para a unidade produtiva – uma exceção sendo os setores de leite e de cervejaria, que utilizam metros cúbicos (ou, de forma equivalente, quilolitros ou kL) já que é mais fácil fazer a mensuração da produção em termos de volume do que peso total. Os setores de Saneamento e *Data Centers* possuem características diferentes por não constituírem setores produtivos propriamente – o que se reflete tanto no fato de eles não estarem representados na Pesquisa Industrial Anual do IBGE quanto no fato de estarem associados a unidades produtivas peculiares. Em particular, no caso dos *datacenters*, utilizou-se a própria unidade de MWh de eletricidade consumido (estimada conforme apresentado no capítulo) como principal “unidade produtiva”; e no caso do setor de saneamento utilizou-se uma unidade de milhares de metros cúbicos, com o destaque de que se trata de um total de água *bombeada* para suprimento (e não uma produção efetiva).

Para a coleta de dados do IBGE, foi utilizada a PIA-Produto, em que a produção industrial de diferentes indústrias é classificada de acordo com códigos identificadores (estes dados correspondem à Tabela 7752 que pode ser acessada no sistema SIDRA do IBGE). Cada indústria inclui ainda uma série de “produtos” discriminados individualmente – entretanto, na maior parte dos casos, a maior parte dos produtos listados foram simplesmente somados de modo a obter uma produção agregada. Apesar das limitações desta agregação, considerando uma primeira análise de menor granularidade, este cálculo pode trazer entendimentos relevantes. Nesta agregação, entretanto, deve-se tomar o cuidado de assegurar que:

- O produto está representado na unidade de interesse correta (por exemplo, em um subsetor de papel que terminou por não ser contemplado na agregação de produção total, o produto “agendas”, medido em unidades, não deveria ser somado)
- Não deve tratar-se de um produto de qualidade “inferior” ou “residual” que inflaria de forma inadequada a produção total (presentes, por exemplo, no setor de alimentos)
- Não deve tratar-se de um produto “intermediário” usado como principal matéria prima para um produto acabado listado (por exemplo, no setor de aço, conclui-se que não deveria ser considerada a produção de ferro-gusa, ainda que às vezes represente um produto final para alguns fins – no lugar disso, deu-se ênfase a outros produtos acabados de aço).

Os principais setores identificados e sua relação com os setores de interesse foram os seguintes:

- O setor 23.2, “Fabricação de cimento”, com diversos produtos associados ao setor de cimento
- O setor 20.11, “Fabricação de cloro e álcalis”, no qual um único produto – “Cloro (produto inorgânico básico), exceto cloro desinfetante” – foi associado ao setor de Cloro
- O setor 24.41, “Metalurgia do alumínio e suas ligas”, com diversos produtos associados ao setor de Alumínio processado. Vale destacar que nenhum dos produtos listados individualmente na PIA correspondem exatamente ao “alumínio primário”, de modo que não foi possível distinguir este subsetor
- Os setores 17.21 (Fabricação de papel) e 17.22 (Fabricação de cartolina e papel-cartão), com diversos produtos associados ao setor de Papel
- Os setores 24.22 (Produção de laminados planos de aço), 24.22 (Produção de laminados planos de aço), 24.23 (Produção de laminados longos de aço), 24.24 (Produção de relaminados, trefilados e perfilados de aço), 24.31 (Produção de tubos de aço com costura) – que contêm diversos produtos associados ao setor de aço
- Os setores 10.11 (Abate de reses, exceto suínos) e 10.12 (Abate de suínos, aves e outros pequenos animais), com diversos produtos associados ao setor de Alimentos-carne
- O setor 10.51, “Preparação de leite”, foi considerado a principal fonte de dados de produção para o setor de Alimentos-laticínios, embora para efeito de valor agregado do produto tenham sido considerados também os setores 10.52 (Fabricação de laticínios) e 10.53 (Fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis). Nota-se que a produção total de leite no primeiro setor foi próxima de 9.9 milhões m³ e a produção total de laticínios nos outros dois setores foi próxima de 9.0 t, indicando uma relação próxima entre esses setores.
- O setor 11.13, “Fabricação de malte, cervejas e chopes”, com um único produto (“Cervejas e chope, inclusive sem álcool”) representando o setor de Alimentos-cerveja
- Já o setor de “Alimentos-outros” é significativamente mais heterogêneo, abarcando virtualmente todos os setores do IBGE da forma 10.XX (alimentos) e 11.XX (bebidas) não listados acima. Nota-se que para fazer esta soma, considerou-se que é possível somar a produção total de setores de bebidas (representada em m³) com a produção total de setores de alimentos (representada em t), considerando que a maior parte das bebidas para consumo humano tem uma densidade muito próxima da água (1 t/m³).

Os resultados deste levantamento são apresentados na Tabela 8. Nota-se que em nenhum dos setores para os quais foi possível fazer a comparação entre os dados da PIA do IBGE e da fonte principal houve discrepância na ordem de grandeza do total, embora em três setores específicos a diferença tenha chegado a 20% ou mais, a saber, os setores de alumínio processado, cloro e papel. No caso do setor de cloro, entende-se que parte do cloro produzido teria sido transformado na própria indústria química em outros produtos finais (como desinfetantes, hipocloritos, ou ácido clorídrico), o que explica por que a produção do IBGE parece ser mais baixa. No caso do setor de papel e do setor de alumínio processado, possivelmente a definição utilizada na fonte principal é mais restrita e bem-definida do que a soma dos diferentes produtos considerada na representação do IBGE. Consequentemente, mesmo as discrepâncias encontradas parecem ser justificáveis, e as duas fontes parecem ser compatíveis.

Tabela 8 – Resumo dos setores industriais: Quantidades totais produzidas.

Atividade	Unidade produtiva (UP)	Produção 2020 (milhões UP) – PIA/IBGE	Produção 2020 (milhões UP) – fonte principal	Discrepânciaa	Fonte principal
Saneamento	1000 m ³ (bombeamento)	N/A	16.27	N/A	[46]
<i>Datacenter</i>	MWh	N/A	0.77	N/A	[1] (ver cap. 2)
Alumínio primário	t	N/A	0.69	N/A	[47]
Alumínio processado	t	1.80	1.40	Média-baixa	[47]
Aço	t	30.98	31.42	Baixa	[48]
Cloro	t	0.39	0.79	Alta	[49]
Cimento	t	75.55	61.16	Baixa	[50]
Papel	t	15.11	10.20	Média-alta	[51]
Alimentos – carne	t	25.14	28.80	Baixa	[52]
Alimentos – cerveja	m ³	17.69	16.10	Baixa	[53]
Alimentos – laticínios	m ³	9.87	9.13	Baixa	[54]
Alimentos – outros	t	130.77	131.50	Baixa	[54]

a Considera-se “alta” uma diferença acima de 40%; “média-alta” entre 30% e 40%; “média-baixa” entre 20% e 30%; e “baixa” abaixo de 20%.

3.2 Consumo específico de eletricidade

Uma das motivações para a representação dos setores produtivos em termos de quantidades totais é que isto possibilita uma validação dos cálculos do *consumo específico* de eletricidade do setor – isto é, o montante de eletricidade consumido para produzir cada unidade de produção. O consumo específico é definido em termos de kWh por UP, onde UP é a unidade produtiva introduzida na seção 3.1.

A partir da razão entre o consumo elétrico total do setor de interesse (considerando tanto o consumo do mercado livre quanto uma estimativa de participação no mercado regulado, como sintetizado na Tabela 3) e a produção total anual, é possível calcular um indicador que denotaremos consumo específico “macro”. Este consumo específico “macro” pode ser contrastado com análises de consumo específico realizadas no contexto de indústrias individuais (“micro”). Essa comparação possui limitações – especialmente no caso de setores industriais muito heterogêneos⁶ ou com particularidades específicas que não são visíveis nos dados de consumo do setor elétrico – entretanto, é valiosa para potencialmente identificar pontos cegos da análise de potencial ou a necessidade de aprofundamentos adicionais.

Uma fonte relevante para dados de consumo específico “micro” são os dados dos relatórios do TDR n. 17 do Projeto Meta, “Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Seleccionados”. O projeto Meta envolveu a investigação de segmentos industriais similares aos segmentos de interesse do presente projeto, e envolveu visitas a empresas para coleta dos dados relevantes. No caso da siderurgia, esses dados foram posteriormente agregados de acordo com metodologia empregada pelo IABr para o Balanço de Energia Global. Em sua maioria, as grandezas referenciadas na Tabela 9 como consumo específico “micro” correspondem exatamente aos valores deste conjunto de relatórios do projeto Meta, com algumas exceções:

- Os setores de Saneamento e *Datacenters* não foram contemplados no projeto Meta, de modo que seu consumo específico “micro” é representado como N/A. Vale destacar ainda que, visto que a unidade produtiva do setor de *datacenters* foi definida como sendo o MWh, o seu consumo específico “macro” é, tautologicamente, igual a 1000 kWh/MWh.

6 Dado que o consumo específico “macro” é uma média global, a diferença com o consumo específico “micro” pode ser elevada, pois este último valor pode corresponder a uma franja extrema da dispersão, a depender da amostra selecionada (ou possível) para calcular o consumo específico “micro”. O risco desse problema ocorrer é maior quanto mais heterogêneas forem as indústrias do setor.

- O projeto Meta também não contemplou os setores de Alumínio processado e de Cimento, pelo qual foram utilizadas outras fontes específicas da indústria⁷. O uso de outras fontes significa que não necessariamente foi utilizada a mesma metodologia para o cálculo do consumo específico, embora os consultores tenham buscado assegurar que ao menos se trata de valores de consumo específico calculados segundo um paradigma “micro”.
- Nos setores de Aço e Alimentos-outras, foi feita uma ponderação de diferentes consumos específicos reportados pelo projeto Meta de modo a obter um único parâmetro para o setor como um todo. No caso do Aço, o projeto Meta fazia distinção entre aço integrado e semi-integrado; e no caso do setor de Alimentos foi feita uma ponderação de setores de Trigo, Grãos (arroz e café), Óleos, e Ração Animal.
- No setor de Alimentos-Carne, a unidade produtiva reportada nos relatórios do projeto Meta é o número de cabeças abatidas (bois, porcos ou frangos), o que resulta em alta incerteza – o próprio relatório reporta uma variação da ordem de 100 vezes entre o limite inferior e o limite superior deste consumo específico.

Considerando a razão entre a produção total de carne e o número de cabeças (que é dominado pelo número de frangos abatidos), foi considerada uma taxa de conversão de 50 kg/cabeça para converter o resultado reportado pelo projeto Meta na unidade de kWh/t.

- No setor de Alimentos-Laticínios, o consumo específico *médio* reportado pelo projeto Meta parece muito discrepante da maior parte dos outros produtos industriais (após uma conversão de unidades, o valor de 3848.9 kWh/t reportado é próximo da produção de Cloro, uma atividade extremamente energointensiva). Após feedback da EPE, utilizou-se um valor 12 vezes menor (320.7 kWh/t) como ponto de partida da análise “micro”.

Os resultados deste levantamento são sintetizados na Tabela 9. Nota-se que, ao contrário do levantamento das quantidades totais produzidas por setor, o levantamento de consumos específicos acusa um número maior de pontos de discrepância – o que em alguma medida é esperado, devido às diferenças metodológicas entre a abordagem “micro” e a abordagem “macro”. Ainda assim, é relevante examinar as possíveis fontes destas discrepâncias.

Tabela 9 – Resumo dos setores industriais: Consumos específicos.

Atividade	Unidade produtiva (UP)	Consumo específico “macro” (kWh/UP)	Consumo específico “micro” (kWh/UP)	Discrepânciac
Saneamento	1000 m ³	659.8	N/A	N/A
Datacenter	MWh	1000	N/A	N/A
Alumínio primário	t	13 902	14 957	Baixa
Alumínio processado	t	1 915.7	622.2 ^b	Alta (macro>)
Aço	t	462.1	787.4	Alta (macro<)
Cloro	t	3 771.9	3 240.1	Baixa
Cimento	t	89.3	111.0 ^b	Média-Baixa (macro<)
Papel	t	747.2	960.8	Média-Baixa (macro<)
Alimentos – carne	t	244.9	43.6 ^a	Alta (macro>)
Alimentos – cerveja	m ³	106.4	81.4	Média-Baixa (macro>)
Alimentos – laticínios	m ³	81.2	320.7 ^a	Alta (macro<)
Alimentos – outros	t	112.3	63.3 ^a	Alta (macro>)

^a Após correção contribuída pela EPE

^b Dados de outras fontes (não do projeto Meta)

^c Considera-se “alta” uma diferença acima de 40%; “média-alta” entre 30% e 40%; “média-baixa” entre 20% e 30%; e “baixa” abaixo de 20%.

⁷ Especificamente, <https://abal.org.br/downloads/publicacoes/aluminio-brasileiro-solucoes-para-uma-vida-sustentavel-port.pdf> para o alumínio processado e <http://snic.org.br/assets/pdf/roadmap/roadmap-tecnologico-do-cimento-brasil.pdf> para o cimento.

O diagnóstico dos consultores chegou aos seguintes pontos como potenciais fontes de discrepância:

- **Dificuldades de interpretação dos dados de consumo específico “micro”:** Este é um desafio que se aplica principalmente aos setores de Alimentos-carne, Alimentos-laticínios, e Alimentos-outros, e merece ser destacado embora não traga conclusões relevantes que possam ser aplicadas no presente estudo. Há, naturalmente, alguma dificuldade ou ambiguidade na extração dessas informações do projeto Meta (como detalhado anteriormente), o que, combinado com a heterogeneidade muito elevada do setor de alimentos em geral, indica que estas discrepâncias não devem ser sobrevalorizadas. Considerando que o setor de Alimentos-outros inclui uma parcela significativa de alimentos processados (inclusive refeições prontas, congelados e enlatados) que não haviam sido contemplados no levantamento do projeto Meta, também não é surpreendente que o consumo específico macro para este setor particular tenha sido mais elevado.
- **Possibilidade de inclusão de demandas não-relacionadas em alguns setores:** Como identificado no capítulo , para a representação de diversos dos setores de interesse foi feita uma identificação das unidades de consumo relevantes para a análise. Entretanto, há a possibilidade que para algum setor a demanda tenha sido superestimada devido à parcela de energia destinada a outros processos realizados na mesma unidade consumidora, o que pode tornar a separação difícil. Em particular, o consumo específico “macro” elevado calculado para o setor de alumínio processado pode ter sido afetado por este tipo de agrupamento – já que as plantas identificadas realizam não apenas a “transformação do alumínio” (atividade referenciada na consumo específico micro), como também a reciclagem de alumínio, além de outras atividades. Embora não seja possível afirmar com certeza, é relevante atentar para a possibilidade de sobrestimação do potencial nestes setores. Este efeito também pode ter afetado em alguma medida o setor de Papel, visto que o setor de produção de Madeira está incorporado no cálculo do consumo total (enquanto o denominador considera unicamente a produção total de papel e papelão). No setor de alimentos, cabe notar também que algumas empresas filtradas nos setores de carne, cerveja e laticínios produzem também outros produtos. A Danone, por exemplo, classificada no setor de Alimentos – laticínios, produz também cereais, enquanto a AMBEV, no setor de Alimentos – cerveja, também produz refrigerantes e outras bebidas. No setor de Alimentos – outros, podemos também citar grupos como a Nestlé, classificado nesta categoria por produzir uma variedade de produtos, mas que também atua na cadeia de laticínios.
- **Contemplação de geração própria atrás do medidor:** Para setores que são parcialmente supridos com produção de eletricidade dentro da própria indústria, o consumo efetivo percebido do ponto de vista do setor elétrico será mais baixo do que o esperado em termos do consumo específico “micro” (com a parcela remanescente da demanda sendo suprida por geração própria atrás do medidor, invisível para o restante da rede). Em particular, este efeito quase certamente explica por que a indústria do Aço resultou em um consumo específico tão baixa, já que esta indústria em particular possui fração significativa de geração própria. A indústria do Cimento e do Papel também são conhecidas por utilizarem geração própria (no caso do papel, geração a biomassa utilizando resíduos de madeira e licor negro), de modo que também nestes casos o consumo específico “macro” mais baixo do que o esperado pode ser em parte justificado pela geração própria.
- **Dificuldade de identificar a totalidade das unidades consumidoras na CCEE:** Para que o cálculo da quantidade macro tenha o significado esperado, é relevante que tanto o numerador quanto o denominador reflitam (em boa aproximação) a *totalidade* da produção e consumo nacional do setor. Entretanto, conforme discutido ao longo do capítulo , em muitos casos as unidades consumidoras correspondentes a determinado setor de interesse foram identificadas individualmente, e sempre há a possibilidade de que parte do consumo não tenha sido identificado corretamente. Devido à elevada concentração de mercado de alguns setores (como aço e cimento) nas mãos de poucas empresas que usualmente podem ser identificadas sem muita dificuldade, este é um desafio que provavelmente seria mais palpável em setores como o de *datacenters* e o de alimentos-laticínios, que são suficientemente pulverizados. De fato, vale notar que especialmente no setor de Alimentos – laticínios e Alimentos – carne, é bastante possível que nem todas as cargas industriais tenham sido identificadas pelos filtros nominais utilizados na base de dados da CCEE (ver discussão na seção) – o que acabaria por gerar também o efeito de inflar o consumo específico do setor Alimentos-outros, uma vez que tais cargas estariam sendo consideradas neste setor.

3.3 Receitas, custos e componentes de custo

Já para uma análise *financeira* dos setores industriais de interesse, uma das principais fontes de informação é a PIA-Empresa, também publicada pelo IBGE. Embora este conjunto de resultados também seja apresentado no âmbito da Pesquisa Industrial Anual, no lugar de colocar o foco nos produtos individuais produzidos (PIA-Produto), o foco é maior nas empresas respondentes (PIA-Empresa). Embora a PIA-Empresa não tenha informações de quantidades totais produzidas e embora não tenha subdivisões por produto, ela possui informações significativamente mais detalhadas a respeito dos fluxos financeiros relevantes. Isto significa que há algumas incertezas envolvidas, o que justifica a sua utilização. A PIA-Empresa possui a mesma subdivisão de setores industriais que a PIA-Produto, de modo que a mesma correspondência da seção 3.1 pôde ser aplicada aqui.

As principais exceções, novamente, são os setores de Saneamento, *Datacenters* e Alumínio primário – que, como indicado na seção 3.1, não puderam ser isolados dos dados do IBGE. Nestes casos, utilizou-se uma combinação de outras fontes, conforme detalhado a seguir:

- Para o setor de saneamento, foram utilizados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que incluem montantes totais de receitas e despesas por componente de custo.
- Para a receita e custo total do setor de *datacenters*, foram utilizados dados do anuário do setor de telecomunicações (publicados pela empresa Fórum Editorial), nos quais são destacadas as atividades de “Serviços de *Hosting* de Servidores ou *Data Center*” e de “Provedores de Serviços de *Cloud Computing*” (que, juntas, compõem cerca de 2.45% da receita total do setor de telecomunicações). Este relatório reporta dados de “receita líquida” e de “lucro bruto”, e a componente de custos foi considerada igual à diferença (receita menos lucros). Para a composição de custos do setor de *datacenters*, foi necessário estimar os custos médios de pessoal (considerados da ordem de 5%); e as outras componentes de custo foram estimadas com base em outras referências⁸ que refletem a composição de custos de operar *datacenters* reais.
- Para o setor de alumínio primário, a receita total do setor foi estimada com base nos preços médios históricos da *commodity* alumínio, multiplicados pela produção total de alumínio primário no Brasil. Já para a relação entre custos de operação e receita líquida, bem como para estimativas de subdivisões por categoria de custo, admitiu-se que os parâmetros para o setor de alumínio processado seriam aproximadamente aplicáveis também para o setor de alumínio primário.

As informações coletadas são sintetizadas nas duas tabelas a seguir, em que a Tabela 10 apresenta uma análise das receitas e custos em nível “macro” e a Tabela 11 apresenta um detalhamento de componentes de custo. Para a interpretação da Tabela 10, é importante destacar que as receitas e custos se referem à totalidade de um setor produtivo. Para setores que contêm produtos intermediários em uma cadeia produtiva (como é o caso do leite no setor de laticínios), é possível que o custo desses produtos intermediários esteja representado duas vezes, tanto como parte da “receita” de venda do leite quanto como parte dos “custos” de produção dos laticínios. Mesmo com essa possível ambiguidade, nota-se que a diferença entre as receitas e despesas ainda deveria representar o “valor agregado” de cada um dos setores de forma acurada (o que é um princípio importante usado no contexto de contas nacionais). Por outro lado, a metodologia do IBGE parece resultar em um total de custos da atividade muito similar à receita total para a maior parte dos setores – e em alguns casos até mesmo um custo superior à receita, como ilustrado na Tabela 10. Como ilustrado por esta observação, há algumas limitações da análise apresentada, que não podem ser inteiramente superadas com os dados disponíveis. Visto que o exercício apresentado neste relatório trata-se de uma investigação pioneira, é de se esperar que existam incertezas na análise realizada, de modo que os pesquisadores se limitaram a apontar os principais pontos de controvérsia para potenciais aprofundamentos futuros.

Da mesma forma que o consumo específico “macro” (em kWh/UP) é uma métrica relevante para análises e validações (como apresentado na seção 3.2), a Tabela 10 também apresenta um cálculo de receita unitária “macro” (em kR\$/UP) calculada com base na razão entre a receita total do setor e a produção total (conforme ressalvas apresentadas na seção 3.1). É importante lembrar que esta razão representa a receita total do setor como um todo – no setor de alimentos-laticínios, por exemplo, isto representa a receita total em toda a cadeia de derivados associada a cada metro cúbico de leite produzido (e não ao preço do leite unicamente). Considerou-se que esta é a representação mais adequada, visto que muitos dos consumidores identificados na CCEE como pertencentes a um setor específico podem fazer parte da cadeia produtiva em um sentido mais amplo na prática (como no caso de produção de laticínios e produtos acabados de papel em escala industrial, nos setores de Alimentos-laticínios e Papel respectivamente).

8 Vide, por exemplo, https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8017/1/2014_BrennoKhappallaSantos.pdf

Tabela 10 – Resumo dos setores industriais: Receitas e custos totais e unitários.

Atividade	Receita da atividade (R\$ bilhões)	Custos da atividade (R\$ bilhões)	Custos em % da receita	Receita unitária “macro” (kR\$/UP)
Saneamento	72.40	65.80	90.9%	4.45
<i>Datacenter</i>	3.31	1.90	57.4%	4.43
Alumínio primário	6.09	5.82	95.4%	8.90
Alumínio processado	41.46	37.63	95.4%	28.20
Aço	150.90	138.07	92.2%	4.77
Cloro	2.83	3.06	120.9%	3.22
Cimento	16.26	16.02	98.7%	0.27
Papel	76.89	77.19	100.9%	7.50
Alimentos – carne	223.75	219.85	99.4%	7.68
Alimentos – cerveja	50.46	47.74	95.2%	3.12
Alimentos – laticínios	76.82	68.86	91.4%	8.25
Alimentos – outros	479.26	441.43	105.8%	3.17

Já em termos de subdivisão de componentes de custo, uma síntese dos parâmetros que descrevem cada um dos setores de interesse é apresentada na Vale destacar que, de acordo com a prática da PIA-Empresa, a Receita líquida de vendas já é reportada líquida de impostos (e, portanto, os impostos não são representados como uma componente de custos).. Exceto pelos setores de Saneamento, *Datacenters*, e Alumínio Primário (que tiveram um tratamento particular em função das fontes como detalhado acima), esta composição de custos foi proposta como uma simplificação das subdivisões apresentadas na pesquisa PIA-Empresa, seguindo os seguintes princípios:

- A componente de “custos com insumos” corresponde à rubrica “Custos com consumo de matérias-primas, materiais auxiliares e componentes” da PIA-Empresa
- A componente de “custos com energia & serviços industriais” corresponde à *diferença* entre a rubrica de “Total de custos das operações industriais” e a rubrica de custos com insumos detalhada acima – visto que, segundo definições da PIA-Empresa, estas são as principais componentes de outros custos industriais não associadas à rubrica de insumos.

- A componente de “custos com pessoal” corresponde à soma de dois campos de custo apresentados na PIA-Empresa: a rubrica “Salários, retiradas e outras remunerações” e a rubrica “Encargos sociais e trabalhistas, indenizações e benefícios” (visto que ambas na prática destinam-se à remuneração de pessoal).
- A componente de “demais custos” corresponde à diferença entre os “Custos totais” reportados pela PIA-Empresa e a soma das componentes acima. De acordo com as definições da pesquisa, esta rubrica inclui aluguéis, componentes financeiras, e outras contribuições similares para o fluxo de caixa da empresa.

Vale destacar que, de acordo com a prática da PIA-Empresa, a Receita líquida de vendas já é reportada líquida de impostos (e, portanto, os impostos não são representados como uma componente de custos).

Tabela 11 – Resumo dos setores industriais: Componentes de custo.

Atividade	Custos com Insumos (%)	Custos com Energia & Serviços Industriais (%)	Custos com Pessoal (%)	Demais custos (%)
Saneamento	18.7%	25.4%	27.2%	28.7%
<i>Datacenter</i>	14.8%	44.3%	5.0%	4.5%
Alumínio ^a	57.5%	15.2%	5.9%	21.4%
Aço	57.8%	13.9%	9.0%	19.3%
Cloro	24.5%	19.3%	11.2%	45.0%
Cimento	25.6%	27.5%	12.7%	34.2%
Papel	37.2%	12.2%	11.6%	39.0%
Alimentos – carne	72.3%	4.4%	10.6%	12.6%
Alimentos – cerveja	57.5%	3.8%	8.5%	30.3%
Alimentos – laticínios	69.9%	4.1%	8.7%	17.3%
Alimentos – outros	60.3%	3.8%	8.9%	27.1%

^a Não é possível isolar o alumínio primário dos dados da PIA, como explicado no início da seção.

3.4 Linha de base para o custo do déficit

Um resultado adicional que pode ser obtido desta análise é a *razão* entre a receita total de um setor (ou o valor agregado associado a ele, correspondente a receita menos custos) e o consumo de eletricidade total desse setor. Esta grandeza está intimamente associada com o “custo do déficit de energia”, visto que representa a perda econômico-financeira associada à não-entrega de eletricidade a este setor produtivo admitindo que a demanda de eletricidade do setor é inelástica. Isto é, se um setor consome 10 kWh por unidade produtiva, caso a sua demanda seja forçadamente reduzida em 100 kWh, isto implicará em uma redução proporcional na sua produção, o que por sua vez implicará em uma perda de receita também proporcional. O custo do déficit já foi objeto de análises e aprofundamentos no setor elétrico, em particular com o projeto de P&D Aneel PD-0642-002/2015 (“Metodologia de elaboração da função de custo do déficit”).

O cálculo da razão entre receita e consumo de energia setorial representa uma estimativa relativamente pessimista para o custo do déficit, visto que considera que todas as unidades de consumo de eletricidade têm o “mesmo valor” – quando na prática um consumidor poderia priorizar diferentes usos da eletricidade, permitindo que serviços “não essenciais” (a baixo custo) deixem de receber energia muito antes de outros serviços mais essenciais (custo elevado). De fato, no capítulo 6 será feita uma exploração desta distinção entre a possibilidade de interrupção para atendimento ao programa de resposta da demanda com ou sem interrupção da produção (o que permite associar valores distintos a cortes de carga de diferentes profundidades). Partindo do pressuposto que alguma perda de produção seria inevitável, entretanto, esta estimativa de custo do déficit “macro” calculada com base na razão entre o retorno econômico e o consumo de energia do setor é uma referência razoável.

Um benefício desta representação “top-down” do custo do déficit, em comparação com abordagens baseadas em entrevistas diretas com consumidores industriais, é que ela permite fazer uma análise mais fria baseada estritamente nos custos e benefícios do potencial tecnicamente viável. Este tipo de análise pode ser desejável porque, conforme constatado pelos consultores em entrevistas realizadas ao longo do projeto, muitos industriais brasileiros se mostraram muito resistentes a aceitar qualquer tipo de solução de compromisso no que diz respeito à possibilidade de aceitar algum risco de perda de produção ao oferecer serviços de resposta da demanda para o sistema. Ainda que esta reação negativa seja relevante para a representação de um potencial *factível* para provisão de resposta da demanda ao sistema (o que será explorado na seção 4.1), é interessante fazer uma estimativa de preço ao qual seria *economicamente racional* para estes segmentos industriais aderirem ao programa ainda que houvesse um risco de perda de produção.

Vale destacar ainda que, para o cálculo do que seria o custo do déficit para a indústria, é possível estabelecer um limite *superior* e um limite *inferior* para este parâmetro:

- Um limite inferior seria obtido caso fosse representada no numerador para o cálculo do custo do déficit a *diferença* entre as receitas totais e custos totais do setor (i.e., o valor agregado). Implicitamente, esta representação sugere que, ao reduzir a produção, tanto as receitas esperadas quanto os custos são reduzidos proporcionalmente, que é o que justifica a perda econômica para a indústria ser proporcional à diferença entre esses valores.
- Um limite superior seria obtido caso fosse representada no numerador para o cálculo do custo do déficit o valor das receitas totais do setor sem deduções. Implicitamente, esta representação sugere que, ao reduzir a produção, as receitas esperadas são reduzidas proporcionalmente, mas os custos permanecem exatamente os mesmos, sem nenhuma capacidade de acomodação.

Visto que ambos estes extremos parecem pouco razoáveis, os consultores propuseram uma metodologia que envolve uma estimativa de “custos evitáveis” com base nas componentes de custo apresentadas na seção . Em particular, considerou-se que os custos de pessoal e as “outras componentes” de custos não fazem parte dos custos evitáveis, já que em sua maioria trata-se de compromissos fixos já assumidos pelas indústrias. Embora as outras duas componentes (custos com insumos, energia, e serviços industriais) pudessem, em princípio, constituir custos potencialmente evitáveis, optamos por uma representação mais conservadora em que apenas 50% dessas duas componentes de custo são classificadas como custos “evitáveis”. Isto representa a possibilidade de que as indústrias necessitem honrar contratos existentes (de prestação de serviço, suprimento de matéria prima, suprimento de combustível, etc), e indica um grau relativamente baixo de adaptabilidade da indústria para evitar este tipo de custo, ao menos no curto prazo (o que é condizente com a sinalização passada aos consultores em entrevistas).

Desta forma, a estimativa do custo do déficit “macro” segundo a metodologia aplicada pelos consultores é a diferença entre a perda unitária de receita e a componente de custos evitáveis. Estes resultados são expressos de forma sintética na Tabela 12. Nota-se que a unidade destes custos unitários é R\$/kWh, o que corresponde a milhares de R\$/MWh.

Não foram calculados custos de déficit para os setores de *Datacenters* e de Saneamento. Se tivéssemos aplicado a metodologia acima descrita, baseada na receita e custos totais da atividade, obteríamos um custo do déficit relativamente baixo: de 3.67 R\$/kWh para Datacenters e 4.78 R\$/kWh para saneamento. Entretanto, tais atividades têm uma característica de “serviço básico” de interesse para a população e estabelecimentos comerciais e industriais, sendo uma componente importante para a infraestrutura de diversas outras atividades. Por isso, não seria razoável utilizar estes custos calculados (de 3.67 R\$/kWh e 4.78 R\$/kWh) como a disposição desses setores a aceitar uma interrupção da sua produção para prover um serviço de resposta da demanda: mais grave do que a perda de receita nessas situações seria a perda de percepção de confiabilidade e robustez pelos clientes desses serviços considerados “básicos”⁹. Por exemplo, é de se esperar que o custo social de uma interrupção do serviço de água para determinada população teria um custo político significativo e muito superior à perda de receita associada aos metros cúbicos de água que deixariam de ser supridos.

9 No caso dos outros setores industriais, ao menos parte desse “custo reputacional” associado à interrupção do serviço estaria contemplado pela representação de um número maior de segmentos na cadeia produtiva do insumo (tais como a receita de laticínios vendidos ao consumidor final na representação do custo do déficit da indústria do leite), diferente dos setores de Saneamento e *Datacenters*, que possuem muitas atividades difusas no “downstream” que dependem desses insumos.

Tabela 12 – Custo de déficit para os diferentes setores industriais.

Atividade	Perda de unitária de receita (R\$/kWh)	Custos evitáveis (R\$/kWh)	Custo do déficit "macro" (R\$/kWh)
Alumínio primário	0.67	0.24	0.44
Alumínio processado	15.22	5.02	10.19
Aço	10.04	3.29	6.75
Cloro	9.97	1.96	8.01
Cimento	3.07	0.80	2.26
Papel	6.48	1.59	4.89
Alimentos – carne	36.34	13.71	22.63
Alimentos – cerveja	30.03	8.70	21.33
Alimentos – laticínios	85.57	28.38	57.19
Alimentos – outros	38.71	10.79	27.92

Devido a esta lógica, não consideramos, neste relatório, a possibilidade de interrupção dos serviços de saneamento e *datacenters* para prover serviços de RD. Serão consideradas alternativas de RD nesses setores que não envolvam prejuízos do serviço para o usuário final (o que chamaremos mais adiante de rota redução/deslocamento do consumo sem perda de produção), por exemplo, a otimização do cronograma de manutenção dos equipamentos, mudança nos horários de bombeamento de água e o uso de geração própria. Mas iniciativas que impeçam a continuidade do serviço (rota redução/deslocamento do consumo com perda de produção) não serão tratadas, pois o custo econômico e de bem-estar social seriam elevados.

4. Paradigma de comportamentos da indústria

Para construir a curva de potencial, é importante determinar alguns paradigmas para a representação da propensão da indústria a participar de programas de RD. O presente capítulo trata de elementos fundamentais que funcionam como um ponto de partida importante para as análises quantitativas apresentadas nos capítulos subsequentes.

Tratamos de dois temas principais: (i) a questão da **aceitabilidade**, que corresponde a um limite exógeno de qual a fração do mercado que estaria disposta a ao menos avaliar o interesse em participar do programa de RD; e (ii) a questão das **rotas de resposta da demanda**, que fazem distinção entre diferentes tipos de ação que poderiam ser tomadas pelos industriais e que representam o paradigma central para a organização dos capítulos 5 e 6.

Nota-se que a estimativa do potencial de resposta da demanda da indústria brasileira é feita a partir da caracterização da demanda dos segmentos industriais feita no capítulo 2, do cálculo de indicadores (em particular o custo do déficit) no capítulo 3, da análise de sua possível adesão a programas de resposta da demanda do capítulo 4. Esta estimativa será feita a partir da construção de curvas de oferta, que mostram quanto de resposta de demanda as indústrias estariam dispostas a prover para cada nível de preços.

4.1 Limitações de aceitabilidade

Nesta seção propõe-se quantificar as limitações de *aceitabilidade* dos segmentos industriais sob análise. Segundo o estudo *Assessment of Industrial Load for Demand Response across U.S. Regions of the Western Interconnect* [7], a aceitabilidade refere-se a um multiplicador que representa a razoabilidade geral de um determinado segmento industrial se engajar em programas de resposta da demanda. Ou seja, a avaliação da aceitabilidade busca mapear o quão propensos os segmentos industriais estão em relação à aspectos que podem influenciar o interesse em mecanismos de resposta da demanda.

A análise de limitações de aceitabilidade proposta neste trabalho consiste em avaliar o interesse dos segmentos industriais em função da resposta a perguntas específicas, empregando-se todos os resultados apresentados até o momento neste projeto, como: as análises de estudo de caso internacionais, as informações gerais sobre a caracterização de cada segmento, as especificidades dos processos produtivos e como ocorre o uso da energia elétrica, além das informações cruciais obtidas durante as entrevistas com os membros das empresas.

Na Tabela 13, a identificação da abrangência dessas perguntas, o tipo de informação principal utilizado para quantificar a resposta e o objetivo da realizar tal pergunta.

Tabela 13 – Lista de perguntas para avaliação das limitações de aceitabilidade.

Nº	Pergunta	Abrangência	Informações referência	Objetivo
1	Os principais equipamentos/ etapas dos processos produtivos consumidores de eletricidade são pouco críticos em relação ao negócio da indústria?	Subsegmento ou Rota Tecnológica	Consumo de eletricidade nas etapas do processo produtivo Equipamentos consumidores de eletricidade	Avaliar se os equipamentos/processos responsáveis pela demanda de eletricidade são críticos para fabricação do produto da indústria. Quanto menos críticos para o negócio maior o potencial de flexibilidade para prover a RD.
2	A matriz energética da indústria depende majoritariamente de outros energéticos, além da eletricidade?	Subsegmento ou Rota Tecnológica	Matriz energética	Avaliar se outros energéticos possuem grande relevância na matriz energética da indústria. Caso outros insumos possuam grande relevância, a energia elétrica é um insumo menos crítico para o negócio da indústria. E, portanto, poderia aumentar a possibilidade de substituição da eletricidade por outros energéticos
3	Existe mais de um tipo de uso final de energia relevante, que demanda eletricidade?	Subsegmento ou Rota Tecnológica	Tipos de uso final da energia elétrica	Avaliar se há mais de um tipo de uso final relevante que demanda energia elétrica, isso implicaria na possibilidade de interromper a demanda por eletricidade para um tipo de uso, sem comprometer outra etapa do processo produtivo.
4	Existem medidas validadas de RD aplicável a este segmento	Subsegmento ou Rota Tecnológica	Entrevistas com membros das indústrias sobre medidas validadas de RD	Avaliar se especificamente durante as entrevistas foram citadas medidas validadas na prática de resposta da demanda, que poderiam ser utilizadas pelo segmento sob análise.
5	O custo com eletricidade é muito representativo em relação aos custos totais da produção industrial?	Setor	Custo com eletricidade	Caso o custo com eletricidade seja bastante representativo, maior o interesse da indústria em participar de programas que impliquem em redução do custo com eletricidade
6	O market share é descentralizado?	Setor	Principais players	Avaliar se dentro do setor industrial há diversas empresas responsáveis pela fabricação do produto, dessa forma é possível obter insights para compreender se a produção intermitente do setor seria um aspecto crítico para o setor como um todo.
7	A produção é distribuída regionalmente?	Setor	Distribuição geográfica da produção ou indústrias	Avaliar se dentro do setor industrial a fabricação do produto é distribuída regionalmente, dessa forma é possível compreender se a produção intermitente do setor em determinada região seria um aspecto crítico.
8	A demanda por esse produto/serviço é pouco crítica para um determinado setor/ população?	Setor	Usuários finais da cadeia produtiva	Avaliar se os agentes/população possuem alta dependência desse produto/serviço, dessa forma é possível compreender se produção/prestação intermitente é crítico para os usuários finais da cadeia produtiva.

As respostas possíveis para essas perguntas são apresentadas na Tabela 14. A nota 1 implica em responder à pergunta de forma que o resultado represente baixa relação de aceitabilidade à RD, a nota 2, relação mediana e a nota 3, relação de alta aceitabilidade à RD.

Tabela 14 – Respostas possíveis para as perguntas de avaliação da aceitabilidade.

Nota	Significado em relação a aceitabilidade da RD
1	Baixo
2	Médio
3	Alto

Após definir as perguntas e as possibilidades de resposta para elas, avaliou-se a nota que cada segmento receberia em função de cada pergunta e o motivo de determinada resposta. Estes resultados são apresentados no Anexo B - Análise dos segmentos em relação às perguntas de avaliação de aceitabilidade.

Na Tabela 15 apresentam-se os resultados da análise dos

segmentos em função das perguntas para avaliação de limitações de aceitabilidade. Para calcular o multiplicador de aceitabilidade calculou-se a nota média de cada segmento em relação as 8 perguntas e identificou-se a porcentagem que esse resultado médio representa da nota média máxima, sendo que média 1 equivale a 0% e média 3, a 100%.

Tabela 15 – Análise dos segmentos em função das perguntas para análise de avaliação de limitações de aceitabilidade.

Per- gunta	Aço-in- tegrado	Sanea- -mento	Alimento -outros	Alumí- nio-pro- cessado	Papel	Cimento	Alumí- nio-pri- mário	Cloro	Alimen- tos-re- frig. 10	Data centers	Aço-se- mi-inte- grado
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	3	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
4	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2
5	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1
6	2	1	3	2	2	3	1	1	3	2	1
7	1	1	3	3	3	3	1	2	3	1	1
8	3	1	2	3	3	3	3	3	2	1	3

Na Tabela 16 apresenta-se o resultado do cálculo do multiplicador de aceitabilidade para cada segmento industrial em função da metodologia proposta.

Tabela 16 – Multiplicador de aceitabilidade para cada subsegmento sob análise.

Segmento (Macro)	Segmento (subdivisão)	Aceitabilidade
Cimento	Cimento	56%
Aço	Aço-Integrado	50%
Papel	Papel	44%
Alimentos e Bebidas	Alimentos-refrigerados	50%
Alumínio	Alumínio-transformação	44%
Alimentos e Bebidas	Alimentos – não refrigerados	38%
Cloro	Cloro	38%
Aço	Aço-semi-integrado	25%
Alumínio	Alumínio-primário	19%
Datacenters	Datacenters	19%
Saneamento	Abastecimento de água	6%

10 Inclui os subsetores de laticínios, carne e cerveja utilizados na classificação do capítulo 2.

4.2 O produto ponta e o produto média

A definição dos dois produtos de resposta da demanda analisados ao longo do presente trabalho foi apresentada e justificada no Caderno 2. A saber, trata-se do *produto demanda ponta* (também chamado de produto potência) e o *produto demanda média* (também chamado de produto energia). Cabe lembrar as principais características desses produtos.

O *produto demanda ponta* é acionado com um dia de antecedência, por uma duração de até 3 horas diárias. O operador pode acioná-lo uma vez por dia, limitado a 48 acionamentos por ano. O *produto demanda média* é acionado com uma semana de antecedência, e haveria um compromisso de redução de energia durante a semana, podendo a indústria ofertante se programar para oferecer essa redução da melhor forma que lhe convenha. Neste caso, há um máximo de 8 acionamentos por ano. Para ambos os produtos a remuneração é feita em duas parcelas: uma fixa, por disponibilidade, e uma variável, por acionamento.

A hipótese subjacente utilizada para o cálculo das curvas de potencial de oferta apresentadas no presente relatório é que o custo variável de acionamento de ambos os produtos é igual ao PLD máximo do sistema – de modo que, a cada vez que o produto RD é acionado, o agente recebe uma compensação equivalente ao PLD máximo. Qualquer custo adicional incorrido pelo agente consumidor para participar do programa de RD (inclusive gastos com pessoal e *compliance*, eventuais investimentos em equipamentos de controle, custos com seguros, sobrecustos acima do PLD teto incorridos pelo agente a cada vez que é acionado, e outras componentes) precisa ser recuperado por meio de um pagamento de receita fixa, que é o principal parâmetro que será apresentado nas curvas de potencial apresentadas neste trabalho. As curvas de potencial nada mais representam do que uma curva de oferta do produto RD, que ilustra a disposição a receber (em R\$/kW.ano) mínima exigida pelos agentes ofertantes do produto RD em função do montante de RD contratada.

Para o cálculo desta disposição a receber mínima exigida, é necessário ainda contemplar uma “expectativa de acionamentos” por parte dos agentes da indústria. Isto porque, embora cada um dos produtos de RD disponibilizados estabeleça um número *máximo* de acionamentos, na prática o mais provável é que o número de acionamentos seja significativamente inferior, em função das necessidades do sistema. Os exercícios deste relatório consideraram uma previsão *pessimista* (próxima ao limite máximo) para o número de acionamentos *esperado* pelos ofertantes de produtos RD para efeito de cálculo da sua disposição a receber.

Vale observar que os dois produtos considerados (média e ponta) correspondem a compromissos de longo prazo, assumidos via a assinatura de contratos. No Caderno 4, foi modelado também um produto de curto prazo despachável, 100% flexível para o operador¹¹. No entanto, não é realista assumir que uma indústria poderia prover este produto, via contratos de longo prazo, dado que ele não possui limites para o número e duração dos acionamentos. Por isso, este produto não foi considerado neste Caderno.

4.3 Principais rotas de resposta da demanda

Os próximos capítulos buscarão quantificar o potencial de resposta da demanda da indústria. Para isso, as diferentes iniciativas que podem ser adotadas pelos agentes industriais foram agrupadas em duas “rotas”: a “rota geração própria” e “rota redução/deslocamento do consumo”. Cada um dos capítulos seguintes tratará de uma dessas rotas.

Na rota “geração própria”, estão incluídas iniciativas como uso de geradores elétricos próprios em momentos em que o sistema elétrico está sobrecarregado; compra ou aluguel de novos geradores; e a cogeração, com a utilização de resíduos industriais para geração elétrica. Nesta rota, a produção industrial geralmente não é afetada, nem o consumo elétrico dos processos industriais, ocorrendo apenas a substituição do consumo da rede elétrica pela geração própria.

A rota “redução/deslocamento” contempla uma série de iniciativas que levam à diminuição do consumo de energia elétrica da unidade industrial ou seu deslocamento para momentos em que a rede se encontra menos sobrecarregada. Algumas dessas iniciativas podem implicar em perda de produção industrial. Dentre as medidas possíveis, podemos citar: a substituição de energia elétrica por outros recursos energéticos, nos processos industriais em que isso for possível; o desligamento de máquinas ou mesmo, em casos mais extremos, de toda a unidade fabril, em horas de ponta; a mudança de turnos de trabalho, priorizando o horário fora da ponta; o planejamento de paradas de manutenção para períodos de maior preço; o uso de inércia térmica; e a otimização e automação de processos. Várias destas iniciativas foram exploradas em relatórios anteriores e em geral sua aplicabilidade depende do segmento industrial de interesse (ver, por exemplo, o Caderno 3).

Para cada rota e para cada produto (conforme introduzido na seção 4.2), o objetivo dos próximos capítulos será estimar o potencial disponível e os custos envolvidos, relacionando-os com os dois produtos propostos no Entregável 2 deste P&D.

¹¹ Modelado no software de otimização da operação como uma térmica sem nenhum tipo de inflexibilidade operativa (rampas, tempos de *uptime* ou *downtime*, máximo de acionamentos, etc.).

5. Quantificação do potencial: Rota geração própria

5.1 Fundamentos

A rota de geração própria inclui essencialmente três modelos de negócio: (i) a compra de geradores (a propriedade do gerador é da própria indústria), (ii) o aluguel de geradores (a propriedade não é da indústria, e ela paga um valor mensal, anual ou com outra periodicidade para poder utilizá-lo) e (iii) a cogeração¹² (uso de um mesmo combustível para geração de eletricidade e calor simultaneamente). O uso de geradores pela indústria brasileira é bastante disseminado, devido aos incentivos econômicos concedidos pela tarifa verde.

A substituição da eletricidade vinda da rede pela energia proveniente de geradores próprios em geral não afeta os processos industriais, o que implica que, em caso de acionamento, não há perdas de produção para a indústria. No caso da cogeração, se houver mudança do padrão de funcionamento nas horas de acionamento da resposta da demanda, com priorização da geração elétrica e redução da geração de energia térmica, pode haver perdas de produção.

Uma desvantagem dessa rota é que o principal combustível utilizado é usualmente o diesel, o que aumenta as emissões de gases de efeito estufa. Em vista disso, alguns programas de resposta da demanda no mundo não permitem a participação de geração própria com combustíveis fósseis. Um exemplo é a França, que desde 2020 impediu agentes cuja redução de consumo fosse obtida por geração não renovável de participarem dos leilões anuais de resposta da demanda realizados pelo operador nacional (a RTE) [8]. A utilização de fontes renováveis é possível, como no caso da cogeração a partir de biomassa (solução bastante disseminada no Brasil), ou com fontes intermitentes associadas ao uso de baterias. Vale observar que o PDE 2031 da EPE [6] concluiu que os custos de bateria ainda precisariam cair consideravelmente para que sua adoção fosse factível no Brasil, mesmo em sistemas de menor escala que os candidatos industriais típicos analisados aqui.

Dentre as complexidades de adoção de geração própria, estão, além dos custos de compra e aquisição de geradores e outros equipamentos, a necessidade de um espaço físico, de ventilação, bem como a logística de compra e armazenamento dos combustíveis, com as respectivas medidas de segurança necessárias.

Se for de interesse desenhar um programa de resposta de demanda que permita o uso de geração própria por seus participantes, a remuneração do programa deve ser calibrada cuidadosamente. Caso a remuneração seja exagerada, há o risco de se criar um incentivo para que qualquer indústria invista em geradores próprios para fins de resposta da demanda – o que seria mais custoso para o sistema do que, por exemplo, investir em nova capacidade de geração centralizada flexível, que em geral é mais eficiente.

As seções seguintes têm por objetivo estimar os custos e o potencial de iniciativas de resposta da demanda na rota de “geração própria”. A análise se restringirá a geradores próprios 100% despacháveis e atrás do medidor (“*behind the meter*”). A seção 5.2 faz uma estimativa da capacidade de geração própria existente nos segmentos industriais de interesse. A seção 5.3 traz uma análise dos custos envolvidos no uso dessa rota. A seção 5.4 traz uma análise qualitativa acerca da cogeração no Brasil. A seção 5.5 conclui, consolidando o potencial estimado na forma de uma curva de oferta.

5.2 Estimativa de capacidade já existente de geração própria local

Para estimar a capacidade existente de geração própria local na indústria, utilizou-se em primeiro lugar uma abordagem padronizada com base em “afundamentos” observados no perfil de consumo histórico das unidades (abordado na seção 5.2.1). Em seguida, apresentam-se refinamentos individuais para a indústria do aço e para a indústria de *datacenters*, setores estes para os quais os consultores consideraram que a abordagem de afundamentos foi menos adequada. Finalmente, os resultados desta análise são consolidados na seção 5.2.4.

¹² A cogeração também pode se valer de combinação de modelos comerciais apontados nos itens (i) e (ii). Por exemplo, a construção e operação por terceiros, com transferência posterior à indústria (BOT).

5.2.1 Análise de “afundamentos”

Como explicado na seção 2.2, indústrias com perfil “afundado” estão geralmente associadas a unidades que já contam com geração própria disponível, e a utilizam em horários de ponta para redução do consumo da rede. Portanto, a análise desses perfis pode oferecer uma boa aproximação do volume existente de geração própria na indústria.

Os valores obtidos são mostrados na Tabela 17, na coluna “afundamento”, para cada um dos setores industriais pesquisados. Calculou-se a diferença entre a média do consumo nas horas fora de ponta e a média do consumo nas horas de ponta (18h – 21h); essa diferença é calculada para cada carga que tenha perfil horário “afundado” e esteja presente nos 12 meses no ano, e é somada para todas as cargas pertencentes ao setor especificado.

Tabela 17 – Afundamento do consumo no horário de pico.

Atividade	Consumo no ACL (MWmed) ¹³	Afundamento (MWmed)	Afundamento (%)
Aço	1716	282	16.4%
Cimento	605	238	39.3%
Papel	1230	67.5	5.5%
Alimentos – outros	1258	54.2	4.3%
Alimentos – carne	527	10.8	2.0%
Saneamento	245	8.8	3.6%
Alimentos – laticínios	76.9	2.2	2.8%
Alumínio processado	311	1.6	0.5%
<i>Datacenter</i>	68.4	0.3	0.4%
Alimentos – cerveja	161	0.2	0.1%
Total	6198	665.7	10.7%

Os setores de alumínio primário e cloro não estão presentes na tabela, pois não apresentam nenhuma carga com perfil afundado.

A tabela mostra os setores em ordem decrescente do tamanho de afundamento. Observa-se que o setor de aço é o que apresenta maior afundamento, com uma redução média nas horas de ponta de 282.2 MW. Isto é coerente com a grande importância da geração própria para este segmento, fato que merece uma análise própria, que será feita na seção 5.2.2. O setor de cimento vem em seguida, com 238 MW, representando quase 40% da demanda do setor. Os segmentos de cimento e aço, em conjunto, representam quase 80% das cargas com afundamento no Brasil, revelando serem os setores mais adeptos ao uso de geração própria e ao uso dessa rota para resposta de demanda.

Utilizaremos os percentuais mostrados na última coluna da tabela acima como uma estimativa da capacidade de geração própria existente no Brasil para cada setor. No entanto, algumas observações se fazem necessárias para o caso da indústria do aço – já que a geração própria é bastante importante para o setor – e para o segmento de *datacenter* – que também possui uma utilização significativa de geração própria, apesar de esta não ter se revelado nesta análise de afundamentos. Estas análises são apresentadas nas seções 5.2.2 e 5.2.3.

¹³ Inclui somente o consumo das cargas que estejam presentes nos 12 boletins de dados horários de consumo da CCEE, relativos aos meses de 2019.

5.2.2 Análise da indústria do aço

Montantes totais de cogeração

O segmento de produção do aço tem grande destaque na geração própria de energia elétrica. Sua alta necessidade energética torna natural que as indústrias do setor invistam em geradores próprios para geração de energia elétrica e térmica. Uma das principais medidas para implementação da geração própria é por meio da cogeração, que tem como premissa aproveitar os gases do processo.

A Tabela 18 apresenta o contraste entre o consumo específico da indústria do aço calculado sob o paradigma “micro” (envolvendo análise de indústrias individualizadas em visitas técnicas) e sob o paradigma “macro” (envolvendo a razão entre o consumo total de eletricidade do setor e a produção total de aço no Brasil), reproduzindo os resultados apresentados na seção 3.2. Nota-se que a diferença entre os dois valores é significativa (acima de 40%), o que, como colocado na seção 3.2, pode ser atribuído em parte a algum montante de energia elétrica produzida e consumida localmente, ou seja, que não foi injetada da rede elétrica.

Tabela 18 – Consumo específico médio apresentado no relatório 2 versus consumo específico demandado do setor elétrico.

Setor	Consumo específico “micro” (kWh/ton)	Consumo específico “macro” (kWh/ton)	Razão entre os consumos específicos
Aço	787.45	463.23	58.85%

Conforme apresentado na Figura 5, constituída com dados do Balanço Energético Nacional (BEN) referentes a 2021, a autoprodução no setor de ferro gusa e aço é de 12801 GWh. Deste total, a energia hidráulica e com outras fontes primárias correspondem a 2595 GWh e 7020 GWh, respectivamente. De um modo geral, pode-se supor que essas fontes estariam atreladas a modelos de autoprodução remota, embora existam algumas exceções – como é o caso de uma empresa do setor de ferro gusa e

aço entrevistada no desenvolvimento desse projeto, que possui uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) no mesmo local da planta de produção. O potencial remanescente de 3186 GWh corresponde a fontes que podem ser usadas para geração própria local por meio da cogeração – incluindo gás natural (507 GWh), lenha e carvão vegetal (816 GWh), o gás de coqueria e alcatrão gerado no processo industrial (1711 GWh), além do óleo diesel, óleo combustível e outros produtos do petróleo.

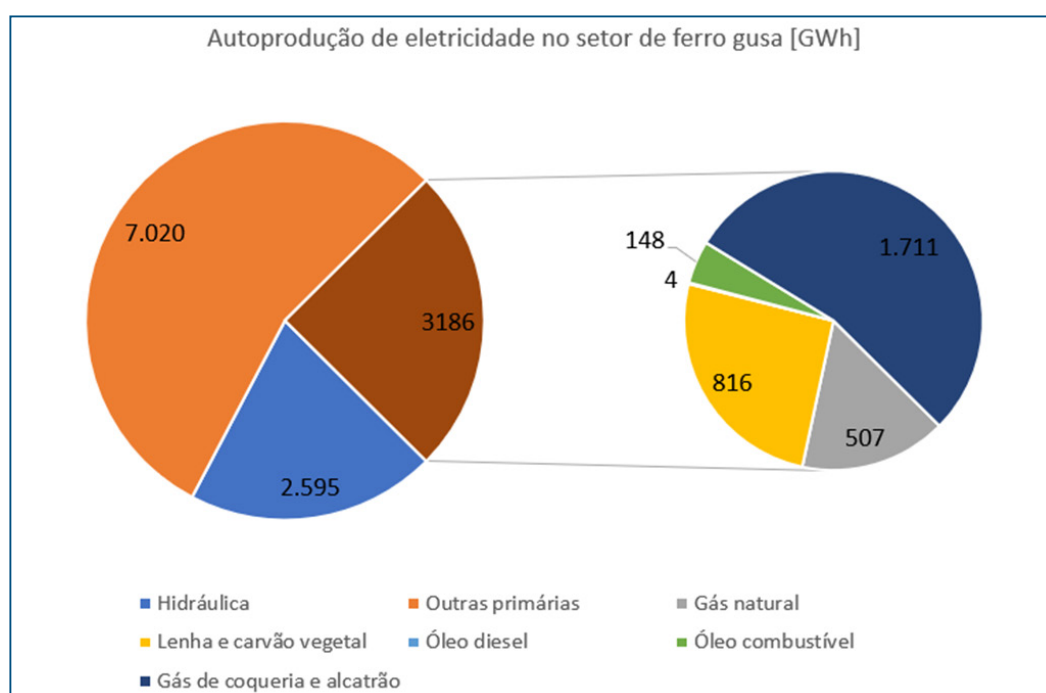


Figura 5 – Autoprodução por fonte energética no setor de ferro gusa e aço, em 2021 [19].

Outra fonte que corrobora os resultados anteriores baseados no consumo específico e no BEN é o Instituto Aço Brasil, segundo o qual mais de 50% da demanda de energia elétrica no setor de ferro gusa e aço é suprida pela geração

própria. O resultado foi obtido a partir de dados de 10 empresas associadas ao Instituto Aço Brasil, responsáveis por 85% da produção bruta de aço em 2020.

Tabela 19 – Distribuição da origem da energia elétrica utiliza para indústria do segmento do aço [20].

Origem da Energia Elétrica	2018	2019	2020
Geração própria	56%	51%	51%
Comprada	44%	49%	49%

Aspectos técnicos da cogeração no segmento do aço

Os altos fornos liberam gás com baixo poder calorífico e baixa temperatura. Parte do gás é utilizada nos regeneradores e o remanescente é utilizado para a geração de energia elétrica por meio de uma turbina a vapor [9]. Destaca-se que o modelo de cogeração apresentado nessa seção é encontrado em usinas de aço de rota integrada, onde há os processos intensos de produção de gases como os gases produzidos na etapa de coqueria (preparação do carvão) e durante a redução do minério de ferro no alto-forno.

Existem 2 tipos principais de cogeração, o *topping*, ou ciclo de topo, e o *bottoming*, ou ciclo de base. Esses dois processos se diferem na sequência na qual a energia é utilizada, tendo como fonte um combustível ou um processo industrial. Na cogeração *topping*, queima-se combustível em uma máquina térmica para produção de eletricidade e aproveita-se o vapor ou gás resultante em processos térmicos¹⁴. Ou seja, a energia elétrica é gerada antes da energia térmica. Na cogeração *bottoming*, a energia térmica proveniente de processos industriais abastece uma máquina térmica, que produz vapor para acionamento de um turbogerador e geração de energia elétrica. Ou seja, o vapor é gerado antes e aproveitado para geração de energia elétrica [10]. Na indústria de ferro gusa e aço, o ciclo de base é o mais utilizado.

Pode-se perceber em uma das entrevistas realizadas com uma empresa do setor de aço que a utilização da cogeração é natural a essa indústria. A alta intensidade energética desse setor acarreta altos custos com energia elétrica, que podem ser minimizados com a geração própria. Além disso, o regime de produção, também intenso, faz que com seja estratégico para as indústrias terem maior controle na gestão da energia elétrica, seja ao se preparar para uma alta na demanda de produção,

e consequentemente da energia, ou para não sofrer com problemas de instabilidades do sistema elétrico.

Mapeamento de indústrias individuais do segmento do aço

A Companhia Siderúrgica do Pecém é autossuficiente em energia elétrica, sendo abastecida integralmente por 2 termelétricas com capacidade somada de 200 MW. Em abril de 2017 foram gerados 131.412 MWh, o recorde até então [11].

A Aço Verde do Brasil produz aço a partir de fontes 100% renováveis. Em 2021, a AVB investiu R\$ 5.000.000 em uma usina térmica com capacidade de 10 MW e iniciou a construção de outra planta que poderá gerar até 50% da energia demanda pela indústria [12].

A Gerdau reduziu nos últimos 3 anos o percentual de energia elétrica demandando pela rede, indo de 25% em 2019 para 23% em 2020 e 21% em 2021, quando 79% da energia elétrica demandada pela indústria foi gerada por ela mesma [13]. Na Usina da Gerdau em Ouro Branco - MG, por exemplo, 70% da energia elétrica foi gerada utilizando os gases do alto forno [13].

A ArcelorMittal Tubarão possui 6 termelétricas e outros sistemas de reaproveitamento de gases de alto forno, totalizando uma capacidade instalada de 500 MW. A usina já foi autossuficiente em energia entre 2014 e 2018 e em 2020 gerou 90% da energia demandada na planta [14].

A CSN, localizada em Volta Redonda (RJ) possui uma Central de Cogeração Termelétrica (CTE1 e CTE2) com capacidade instalada de 245 MW, além de uma Turbina de Recuperação de Topo (TRT) com 22 MW de capacidade

¹⁴ O ciclo *topping* pode ocorrer, por exemplo: (i) queima-se combustível em uma caldeira e o vapor gerado alimenta uma turbina, em um ciclo Rankine; (ii) queima-se combustível em uma turbina a gás natural e o exausto (gás a alta temperatura) é destinado a uma caldeira para gerar vapor, ou seja, em ciclo Brayton. A depender do dimensionamento, pode-se usar uma caldeira de geração suplementar (HRSG).

instalada [15]. Além disso, ela possui participação em 2 usinas hidrelétricas, tendo disponível até 465.25 MW [16].

A usina da Ternium para produção de placas de aço possui uma termelétrica de ciclo combinado com capacidade de gerar até 490 MW [17].

A Vallourec também aplica a solução de cogeração de energia elétrica utilizando os gases de alto forno. A capacidade dessa usina térmica é de 11.446 KWh, sendo possível gerar um terço de toda energia consumida em sua usina localizada em Belo Horizonte (MG) [18].

5.2.3 Análise da indústria de *datacenters*

Visão geral e motivações

O segmento de *datacenters* tem crescido de forma bastante rápida no país. A Figura 6 ilustra a evolução no tempo da componente de receita líquida do segmento (“Serviços de *hosting* de servidores ou *data center*”), demonstrando que houve um crescimento de mais de 74% nos últimos 6 anos. Enfatiza-se que este segmento se encontra em franca expansão no país e tem atraído diversos *players* estrangeiros com interesse em participar da expansão desse mercado no Brasil.

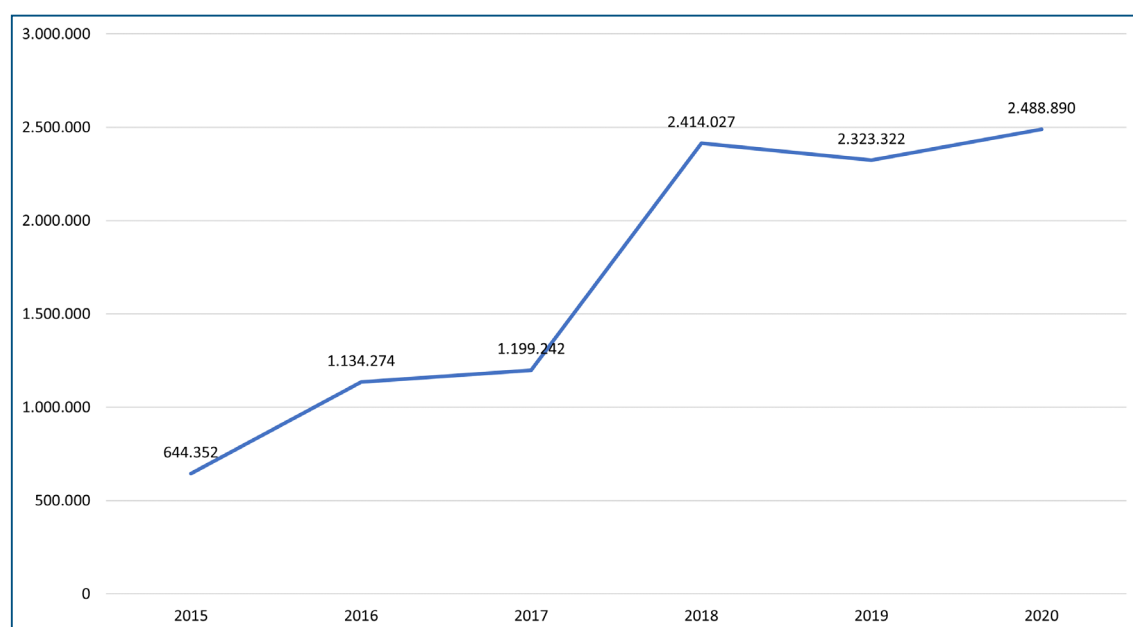


Figura 6 – Receita Líquida (R\$ mil) - Serviços de Hosting de Servidores ou Data Center [3].

A capacidade de geração própria dos *data centers* pode estar atrelada ao potencial de redundância dos empreendimentos. É relativamente comum que proprietários de *data centers* adquiram geradores de *backup* capazes de manter o centro funcionando mesmo em eventos de queda de energia. Visto que esta trata-se de uma infraestrutura de emergência, entretanto, ela não permaneceria em uso durante períodos de funcionamento normal da rede elétrica – de modo que seria possível contemplar a possibilidade de que tais equipamentos redundantes, quando estivessem disponíveis, pudessem ser usados para atendimento de serviço de resposta da demanda valorizada pelo sistema (como será explorado mais adiante).

Os padrões de redundância dos *data centers* são classificados por *Tier*. A palavra *Tier* vem do inglês e significa “camada”, e é através da definição do *Tier*, que varia dos níveis 1 a 4, conforme norma TIA (Telecommunications Infrastructure Standard for Data Center) 942, é que são obtidos os níveis de redundância e segurança dos *data centers* [31]. Os *Data Centers* com qualificação *Tier 1* possuem apenas uma camada de redundância, e consequentemente, menos proteção quanto a períodos de falta de funcionamento (*downtimes*) em comparação a sistemas *Tier 2*, 3 ou 4 [31].

Os sistemas *Tier 3* e *Tier 4* possuem as maiores camadas de proteção para indisponibilidade e podem tornar-se praticamente à prova de paralisações. Logo, são mais indicados para *Data Centers* que necessitam de funcionamento permanente. Os *Data Centers* podem

possuir uma camada diferente para cada repartição de sua infraestrutura: elétrica, mecânica, telecomunicações, arquitetura [31]. Na Tabela 20 apresenta-se o resumo das características dos *data centers* por nível de *Tier*.

Tabela 20 – Resumo das características por nível de Tier [32].

TIER	Características
I (Classificação básica)	• 99.671% de uptime (tempo de atividade); • Não há exigência de redundância; • Pode sofrer 1.2 falha de equipamentos ou infraestrutura de distribuição por ano.
II (<i>Data Center</i> redundante)	• 99.749% de uptime; • 22 horas de inatividade por ano; • Redundância parcial em energia / refrigeração.
III (Sistema autossustentado)	• 99.982% de uptime; • 1.6 horas de inatividade por ano; • 72 horas de proteção contra interrupção de energia.
IV (Alta tolerância a falhas)	• 99.995% de uptime; • Redundância integral; • 96 horas de proteção em casos de queda de energia

Acionamento e disponibilidade da geração própria em datacenters

A geração própria de energia elétrica em *datacenters* está ligada a 3 tipos de operações onde cada uma delas possui uma finalidade específica distinta: *Standby*/Emergência, *Prime Power* e *Base Power*/Contínuo. Quanto à potência dos geradores em *Data Centers*, os valores típicos estão entre 100 kVA e 1000 kVA. O tipo de combustível para o gerador é geralmente o óleo diesel ou gás natural, sendo o segundo menos comum [33].

O modo *Standby* ou de emergência, refere-se aos geradores projetados para assumir a carga em situações de falha no fornecimento de energia elétrica pela concessionária de distribuição [33]. Esse tipo de gerador possui um limite de horas de funcionamento e devido a esse fato poderia se aplicar somente aos *data centers Tier I*.

A segunda forma de operação da geração própria é chamada de *Prime Power*, onde o gerador entra em funcionamento em períodos determinados de acordo com a necessidade da carga. Nos horários de ponta, por exemplo, ele pode entrar em funcionamento devido ao valor da tarifa de energia elétrica ser mais elevada [33]. Entende-se que tais geradores seriam aplicáveis em *data centers Tier II e Tier III*.

Por fim, existe a terceira forma de operação chamada de Contínua. Nesse modo de operação, o gerador é projetado para funcionamento contínuo, sendo utilizado como fonte principal de energia. Ele é empregado nos casos em que é necessário segurança máxima, possuindo diversas rotas de fornecimento [33]. Nota-se que esse padrão de operação poderia ser empregado nos *data centers Tier 4*, onde é necessário a presença de duas fontes distintas em operação contínua.

Mapeamento de indústrias individuais do segmento de datacenters

Diversos empreendimentos do segmento de *datacenter* contam com geradores próprios para garantir o funcionamento dos sistemas em caso de falha do fornecimento de eletricidade da rede elétrica ou em caso de manutenções programadas. Após pesquisa, foi possível coletar os seguintes exemplos de *data centers* que possuem geradores próprios:

- O TRF-4 do Rio Grande do Sul conta com dois geradores de 260 kVA [36].
- O *data center* do IBGE do Rio de Janeiro também conta com dois geradores sendo um deles de 250 kVA e outro de 450 kVA [37].
- A Celesc, distribuidora de energia conta com dois *data centers* alimentados por um gerador de 150 kVA e dois de 450 kVA [38].
- A Sanepar conta com um gerador de 300 kVA em seu *data center* [39].

Destaca-se ainda, que existe um movimento chamado “TI verde” que está relacionado, entre outras coisas, com o uso de energia renovável nos *data centers*. O movimento é exemplificado pelos casos da Ascenty, que instalou uma usina de energia fotovoltaica no *Data Center* de São Paulo, e da HostDime, que investe mais de R\$ 5 milhões em construção de usina solar fotovoltaica [34], [35].

De um modo geral, existe uma contínua evolução no setor de *datacenter* no Brasil, conforme ilustrado pela Figura 6, de modo espera-se a realização de mais investimentos nesta área – o que pode levar também a uma maior disposição a ofertar produto de resposta da demanda baseados na geração própria com geradores de emergência em situações de baixo risco em que se encontram fora de uso.

5.2.4 Premissa consolidada de geração própria disponível

Conforme as análises feitas nas seções anteriores, assumiu-se a capacidade disponível de geração própria para todos os setores – com a exceção dos setores de aço e datacenters – conforme a análise de aprofundamento feita na seção 5.2.1 e resumida na Tabela 17. Os percentuais mostrados naquela tabela foram aplicados ao consumo de cada segmento industrial (incluindo o consumo tanto no ACL como também a carga estimada no ACR), para chegar às capacidades mostradas na Tabela 21.

No caso do setor de aço, observamos um aprofundamento de 282 MW na seção 5.2.1. No entanto, as análises apresentadas na seção 5.2.2 sugere que a capacidade de geração própria do segmento é maior. De fato, o Balanço Energético (BEN) 2020 da EPE indica uma capacidade instalada de autoprodução para o setor de ferro gusa e aço de 2410 MW (incluindo 739 MW de capacidade hidrelétrica e 1670 de térmicas). Somando a capacidade das termelétricas mencionadas na seção 5.2.2 (subseção “Mapeamento de indústrias individuais”), chegamos a 1470 MW. No entanto, tais números são da ordem de grandeza ou até maiores que a demanda do setor de aço observada do ponto de vista do setor elétrico (da ordem de 1720 MWmed), e usar a totalidade desta capacidade disponível em um programa de resposta da demanda dependeria de que fosse física e regulatoriamente permitido acomodar uma inversão de fluxo no programa de resposta de demanda (isto é, o consumidor passaria a injetar energia na rede em alguns períodos). Mais que isso, há algum grau de incerteza no que diz respeito ao quanto desta autoprodução ocorre de forma remota; bem como da flexibilidade para disponibilizar esta capacidade de geração em regime flexível (já que haveria um fator de utilização para a cogeração que dependeria da produção industrial em cada momento).

Já pela análise de consumo específico da Tabela 18, podemos chegar a outra estimativa da geração própria na indústria de aço. Como vimos, haveria 324.22 kWh/ton de aço de geração própria local, o que corresponde (considerando a produção de aço de 32.5 milhões de toneladas em 2019) a aproximadamente 10.5 TWh de geração local no ano de 2019. No entanto, como visto na Figura 5, esperaríamos algo em torno de 3.2 TWh de geração própria local (desconsiderando as fontes hidráulicas e “outras primárias”, que tenderiam a ser geração remota). É bem possível que uma parcela mais considerável das fontes “hidráulica” e “outras primárias” seja composta, em verdade, de geração local, mas devido às incertezas e aparente incoerências nos dados (inclusive observando que o consumo específico do setor de aço indicado no BEN 2020 é de 549 kWh/ton, menor que os 787.5 kWh/t a que chegamos na Tabela 18), optamos por assumir uma hipótese mais conservadora, de uma capacidade de geração própria na indústria de aço de 363 MWmed, correspondentes aos 3.2 TWh indicados pela análise da Figura 5, valor ligeiramente maior que os 282 MW resultantes da análise de aprofundamento.

Para *datacenters*, apesar da análise da seção 5.2.1 ter revelado um grau bastante pequeno de afundamento (da ordem de 0.4% da demanda, como se vê na Tabela 17), foi possível concluir da análise na seção 5.2.3 que há um uso significativo de geradores próprios no setor, para *backup*. Como uma parte significativa do consumo do setor está coberta por algum gerador próprio, assumiu-se uma porcentagem maior de geração própria do que os

revelados pela análise de afundamento, e similar ao percentual de aceitabilidade do segmento (Tabela 16).

As premissas finais de capacidades de geração própria existente para cada setor se encontram na Tabela 21, em ordem do setor com maior capacidade para o de menor capacidade.

Tabela 21 – Premissa consolidada de geração própria disponível.

Atividade	Consumo (MWmed) ¹⁵	Geração própria existente (MW)
Aço	1720	363
Cimento	606	238
Papel	1379	75.8
Alimentos - outros	1741	75.2
Saneamento	1333	48.1
Alimentos - carne	719	14.7
<i>Datacenter</i>	87.7	16.4
Alimentos - laticínios	104	3.0
Alumínio processado	312	1.6
Alimentos - cerveja	194	0.2
Total	8195	835.7

5.3 Custos de um gerador a diesel

Nesta seção, almeja-se estimar os custos associados à provisão do produto resposta da demanda com geração a diesel – ou seja, o gerador a diesel é utilizado para suprir a demanda por eletricidade da planta industrial quando a unidade consumidora reduz o uso da energia elétrica proveniente da rede distribuição; e as receitas no programa de resposta da demanda devem ser suficientes para cobrir tanto custos fixos quanto custos variáveis (consumo de combustível por acionamento) desta provisão.

Considera-se que o gerador utilizado nesse tipo de ação pode ser: (i) um equipamento já existente na indústria (até a capacidade estimada na seção como estando disponível) ou (ii) um equipamento novo que precisaria ser adquirido via locação ou compra.

5.3.1 Premissas e valores associados ao cálculo de custos de um gerador a diesel e o sobrecusto de acionamento

Em todos os casos de avaliação do custo de utilização do gerador a diesel, é necessário obter premissas gerais que auxiliam nos cálculos do custo com a utilização equipamento para geração de energia elétrica. As variáveis que compõem essa premissa são: o CAPEX, o OPEX, o consumo específico do gerador, o preço do óleo diesel e custos atrelados ao aluguel do equipamento. A Tabela 22 apresenta as premissas consideradas ao longo de todas as análises.

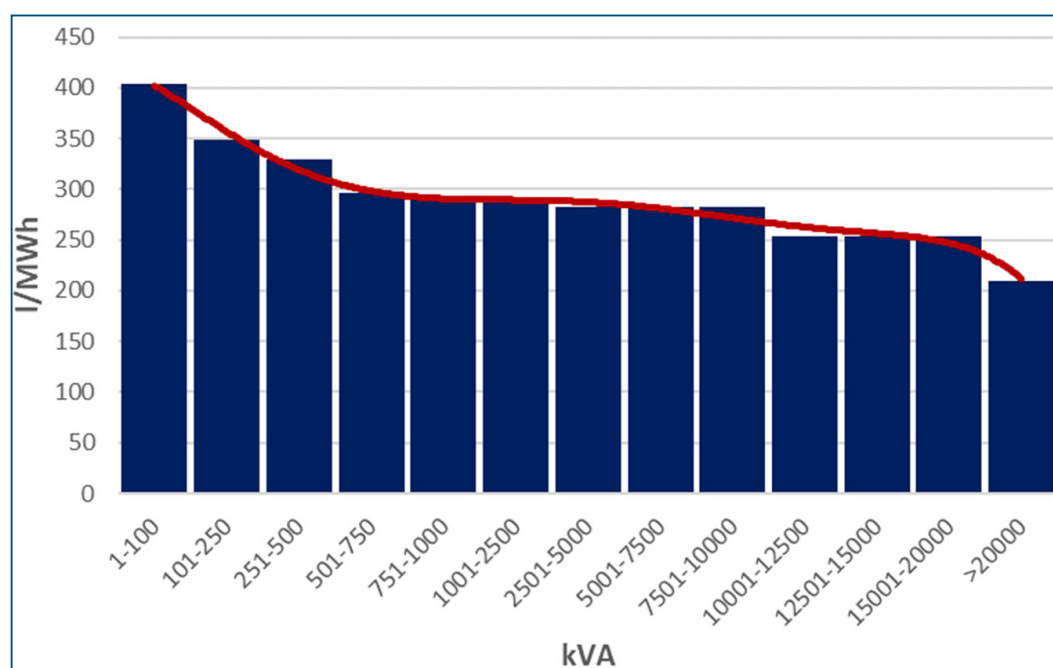
¹⁵ As diferenças entre os números mostrados nesta coluna e na coluna Consumo ACL da Tabela 17 se devem a: (i) esta tabela inclui a estimativa do consumo de cada segmento no ACR, feita a partir das informações do anuário estatístico da EPE; (ii) a Tabela 17 inclui somente cargas do ACL presentes nos 12 boletins do ano de 2019, enquanto esta tabela considera também cargas que estejam presentes em apenas alguns meses.

Tabela 22 – Premissas gerais utilizadas para o cálculo do custo de acionamento do gerador a diesel [6], [41], [42].

Premissas	Valores
CAPEX (R\$/kW)	R\$ 1.000,00
OPEX (R\$/MWh)	R\$ 25,00
Preço Diesel (R\$/l)	R\$ 6,56
Aluguel Gerador (R\$/dia) (500 kVA)	R\$ 366,66

No caso do consumo específico dos geradores elétricos, há uma importante dependência com relação ao tamanho da unidade. Isto pode ser visto, por exemplo, na Resolução ANEEL 801 de 19 de dezembro de 2017 [21], que estabelece certos limites ao consumo específico (para fins de remuneração) conforme faixa de potência da unidade.

Tais limites podem ser visualizados na Figura 7. Em geral, quanto maior a unidade geradora, mais eficiente (menor consumo específico) será, o que leva a ganhos de escala caso a unidade consumidora tenha tamanho suficiente para acomodar geradores maiores.

**Figura 7 – Consumo específico de unidades geradoras a diesel, segundo seu tamanho [21].**

Para capturar este efeito de aumento de eficiência com o tamanho da unidade consumidora, adotaram-se seis faixas de consumo específico, indicadas na Tabela 23. Cada faixa de consumo específico terá um custo de provisão de RD pela rota de geração própria, como ficará claro na seção 5.3.2. Os valores de consumo específico apontados na tabela são os limites máximos estabelecidos pela REN 801 para as correspondentes faixas de potência¹⁶ [21], de modo que podem ser considerados valores conservadores.

¹⁶ Com uma ressalva: unidades de 2501 a 10000 kVA possuem um limite de 283 kVA pela resolução, mas essa faixa foi aglutinada com a faixa de 751 a 2500 por simplificação.

Tabela 23 – Premissas de consumo específico da geração própria [21].

Tamanho do gerador (kVA)	Consumo específico (l/MWh)
1-100	404
101-250	349
251-500	329
501-750	296
751-10000	289
>10000	253

Nota-se ainda que, no contexto da reposta da demanda, é fundamental calcular o sobrecurso de acionamento do gerador a diesel em relação ao custo da eletricidade proveniente da rede elétrica. Para tanto, a Tabela 24 apresenta os valores de custo associado à eletricidade, que servem como referência para o cálculo do sobrecurso de acionamento apresentado na próxima seção.

O custo unitário com energia elétrica é apresentado em 4 óticas diferentes: (i) o PLD máximo estrutural divulgado pela CCEE [40] (preço teto da energia elétrica no mercado), (ii) o custo total com eletricidade de uma carga industrial, (iii) o custo fora ponta com eletricidade de uma carga industrial e (iv) o custo ponta com eletricidade de uma carga industrial¹⁷. O detalhamento dos cálculos para os itens (ii), (iii) e (iv) poderão ser encontrados no Anexo C - Cálculos associados aos custos de acionamento e sobre acionamento do gerador a diesel, seção Cálculo de custos com eletricidade associados a unidade consumidora industrial.

Tabela 24 – Custo associado à eletricidade em 4 óticas diferentes.

Descrição custo com energia elétrica	Valor (R\$/MWh)
PLD máximo estrutural divulgado pela CCEE	646,58
Custo total com eletricidade de uma carga industrial	468,64
Custo fora ponta com eletricidade de uma carga industrial	325,08
Custo ponta total com eletricidade de uma carga industrial	1760,76

5.3.2 Custos de oportunidade de um gerador existente

O gerador existente corresponde ao caso no qual o proprietário da unidade consumidora possui um gerador a diesel próprio, cuja compra está quitada, ou seja, não há desembolsos periódicos vinculados à aquisição do equipamento.

Neste caso, o custo unitário para operação e manutenção do gerador a diesel, denominado de Custo Variável Unitário do Gerador Existente ($CVU_{\text{Gerador existente}}$), é uma função

do custo com aquisição do combustível e de outros custos vinculados a operação e manutenção (OPEX), como equipe dedicada, manutenção, limpeza etc. Essa função é mostrada na equação (1) da Tabela 25. Apresentam-se também os valores encontrados para o Custo Variável Unitário do Gerador Existente, conforme as faixas de consumo específico indicadas na seção 5.3.1. Eles são obtidos substituindo os valores da Tabela 22 e da Tabela 23 na equação (1).

¹⁷ Considera unidade consumidora genérica conectada na média tensão, pertencente ao Grupo A, Subgrupo A4, Modalidade tarifária Verde, pertencente ao ambiente de contratação livre (ACL), que adquiriu energia incentivada especial com 50% de desconto na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). O detalhamento dos cálculos pode ser encontrado no Anexo C - Cálculos associados aos custos de acionamento e sobre acionamento do gerador a diesel, seção 12.1 Cálculo de custos com eletricidade associados a unidade consumidora industrial.

Tabela 25 – Custo de acionamento do gerador a diesel existente.

Variável	Equação	Tamanho do gerador (kVA)	CVU Valor (R\$/MWh)
CVU _{Gerador existente}	$CVU_{Gerador\ existente} = Consumo\ Específico \times Preço\ Diesel + OPEX (1)$	1-100	R\$ 2675,24
		101-250	R\$ 2314,44
		251-500	R\$ 2183,24
		501-750	R\$ 1966,76
		751-10000	R\$ 1920,84
		>10000	R\$ 1684,68

Portanto, o custo para realizar a resposta da demanda com um gerador a diesel existente de 500 kV, por exemplo, é R\$/MWh 2183,24. Contudo, deve-se avaliar não somente o custo de acionamento do gerador em si, mas também o custo de oportunidade em relação ao uso da eletricidade proveniente da rede elétrica, preterido pela geração própria durante a medida de RD. A indústria, ao deixar de adquirir a energia elétrica da rede para consumir da geração própria, deve perceber uma redução de tarifa.

Assumimos que essa redução de tarifa se daria através de uma remuneração variável prevista dentro do programa de RD, proporcional ao PLD máximo estrutural, de 646,58 R\$/MWh (Tabela 24). Assim, o valor a ser recuperado pela remuneração fixa do programa de RD seria dado pela diferença entre o CVU_{Gerador existente} e o que já é recuperado via a remuneração variável. Esses valores são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel existente.

Tamanho do gerador (kVA)	Custo de acionamento do gerador a diesel (CVU _{Gerador existente}) (R\$/MWh)	Remuneração variável (R\$/MWh)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel (R\$/MWh)
1-100	R\$ 2675,24	R\$ 646,58	R\$ 2028,66
101-250	R\$ 2314,44		R\$ 1667,86
251-500	R\$ 2183,24		R\$ 1536,66
501-750	R\$ 1966,76		R\$ 1320,18
751-10000	R\$ 1920,84		R\$ 1274,26
>10000	R\$ 1684,68		R\$ 1038,10

A remuneração anual exigida pelos agentes industriais para poder participar no âmbito de um programa de resposta da demanda seria dada pela multiplicação desses custos pela duração dos acionamentos (em horas por ano). No pior caso, o produto “demanda média” seria acionado 8 vezes no ano, enquanto o produto “demanda ponta” seria acionado 48 vezes. No entanto, é esperado que o número de acionamentos seja menor e o preço exigido pelos participantes do programa dependerá da distribuição de probabilidade desse número de acionamentos. Para estimar os sobrecustos dos dois produtos, assumiu-se um número de acionamentos por ano de 6.5 para o produto demanda média e 42 para o produto ponta, o que leva aos valores da Tabela 27.

Tabela 27 – Remuneração fixa anual exigida pela rota de geração própria existente.

Tamanho do gerador (kVA)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto ponta (R\$/kW-ano)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto média (R\$/kW-ano)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel (R\$/MWh)
1-100	R\$ 255,61	R\$ 1582,35	R\$ 2028,66
101-250	R\$ 210,15		R\$ 1300,93
251-500	R\$ 193,62		R\$ 1198,59
501-750	R\$ 166,34		R\$ 1029,74
751-10000	R\$ 160,56		R\$ 993,92
>10000	R\$ 130,80		R\$ 809,72

Pode ser observado que o preço para a demanda de ponta é significativamente menor, pela duração menor do acionamento (3 horas diárias ao invés de uma semana inteira).

5.3.3 Custos de um gerador novo

O gerador novo corresponde ao caso no qual o proprietário da unidade consumidora possui um gerador a diesel alugado ou em processo de quitação. Ou seja, em relação ao cenário do tópico anterior, adiciona-se na equação do custo variável unitário o custo de locação ou a parcela da dívida referente à compra de um gerador novo.

A metodologia de cálculo para o custo de aquisição de um novo gerador é apresentada no Anexo C - Cálculos associados aos custos de acionamento e sobre acionamento do gerador a diesel, seção Cálculo de custos com aquisição do gerador¹⁸. Em base a esta metodologia, estimou-se um custo nivelado de 310.77 R\$/kW por ano a serem pagos pelo agente interessado em adquirir um novo gerador a diesel.

No caso do aluguel de um gerador, estimou-se um custo de 0.73 R\$/kW por dia de aluguel, com base no valor apresentado na Tabela 22 para um gerador de 500 kVA. O pagamento anual dependerá do número de dias em que for necessário alugar o equipamento para prover o produto de resposta da demanda. Dado o número de acionamentos de cada produto (máximo de 48 dias para o produto ponta e 8 semanas para o produto média), seria bastante conservador assumir uma necessidade de alugar o gerador por 365 dias. Vamos assumir uma premissa menos conservadora, mas, de todo modo, vale reparar que, mesmo com esta premissa (que levaria ao maior custo de aluguel possível), o pagamento anual seria de 267.66 R\$/kW, inferior ao custo de aquisição, de 310.77 R\$/kW.

Conclui-se que o aluguel se mostra uma alternativa mais interessante que a aquisição de novos geradores.

A premissa efetivamente utilizada para a duração de aluguel será de 90 dias para o produto demanda ponta e 32.5 dias para o produto demanda média. No caso do produto ponta, este número está baseado em uma expectativa de que os acionamentos se concentrem ao longo dos meses de maior necessidade do sistema (geralmente períodos de seca) – assumimos um período de 3 meses. Já no caso do produto média, uma vez que a antecedência do acionamento é maior, assumimos que o agente teria tempo para preparar-se e alugar o gerador somente nos dias em que for efetivamente acionado. Como dito na seção 5.3.2, espera-se que o produto média seja acionado 6.5 semanas por ano em média – o número de 32.5 vem de multiplicar este valor de 6.5 (semanas) por 5 (dias úteis por semana).

Assim, o pagamento anual para aluguel de um gerador a diesel seria de 66,00 R\$/kW para o produto ponta e 23,83 R\$/kW para o produto média.

Somando os valores de aquisição e aluguel àqueles apresentados na Tabela 27, chegamos aos custos de um gerador novo apresentados na tabela seguinte.

¹⁸ Assumiu-se que o financiamento para aquisição do equipamento novo seria pago em 5 anos, após o fim desse período o custo de acionamento do gerador é equivalente ao custo do gerador existente.

Tabela 28 – Remuneração fixa anual exigida pela rota de nova geração própria.

Aquisição ¹⁹				
Tamanho do gerador (kVA)	Custo aquisição (R\$/ kW-ano)		Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto ponta (R\$/kW-ano)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto média (R\$/kW-ano)
1-100	R\$ 310,77		R\$ 566,38	R\$ 1893,12
101-250			R\$ 520,92	R\$ 1611,70
251-500			R\$ 504,39	R\$ 1509,36
501-750			R\$ 477,11	R\$ 1340,51
751-10000			R\$ 471,33	R\$ 1304,69
>10000			R\$ 441,57	R\$ 1120,49
Aluguel ²⁰				
Tamanho do gerador (kVA)	Custo - ponta (R\$/ kW-ano)	Custo - média (R\$/ kW-ano)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto ponta (R\$/kW-ano)	Sobrecusto de acionamento do gerador a diesel – produto média (R\$/kW-ano)
1-100	R\$ 66,00	R\$ 23,83	R\$ 321,61	R\$ 1606,19
101-250			R\$ 276,15	R\$ 1324,76
251-500			R\$ 259,62	R\$ 1222,43
501-750			R\$ 232,34	R\$ 1053,57
751-10000			R\$ 226,56	R\$ 1017,76
>10000			R\$ 196,80	R\$ 833,55

¹⁹ $Sobrecusto_{Compra} = (Consumo\ Específico \times Preço\ Diesel + OPEX - Receita\ Variável) \times Duração\ acionamentos + 310,77$. Em que o valor de 310,77 R\$/kW-ano é o custo da aquisição do gerador. Note que a primeira parcela da equação equivale ao mesmo cálculo e valores apresentados para equação (1).

²⁰ $Sobrecusto_{Aluguel} = (Consumo\ Específico \times Preço\ Diesel + OPEX - Receita\ Variável) \times Duração\ acionamentos + 0,73 \times Duração\ aluguel$. Em que o valor de 0,73 R\$/kW é o custo de aluguel do gerador. Note que a primeira parcela da equação equivale ao mesmo cálculo e valores apresentados para equação (1).

5.4 Custos da cogeração

A cogeração consiste na geração simultânea de mais de uma forma de energia partindo de um único combustível [23]. Esse tipo de operação traz benefícios de eficiência energética, estabilidade da operação e redução de custos com energia e pode suprir maior parte da demanda de energia durante horários de ponta [22].

Além disso, a cogeração surge como uma estratégia potencial para prover a resposta da demanda, uma vez que a modulação do volume de energia elétrica gerada nos processos de cogeração possibilita a redução da demanda da rede elétrica externa. No Brasil, os principais combustíveis utilizados para a cogeração são o bagaço da cana e o gás natural, em geral produzindo energia elétrica, térmica e/ou gases de exaustão [23].

5.4.1 Cenário nacional

Os principais segmentos com cogeração no Brasil são o de indústrias de cana de açúcar, químicas, papel e celulose e de ferro gusa e aço, com capacidade instalada de 16,6 GW, 912 MW, 346 MW e 287 MW, respectivamente [29].

Indústrias termo intensivas, como a siderúrgica, têm alto potencial no uso de turbinas a vapor para a produção de energia elétrica a partir do Gás de Alto-Forno (GAF) [25]. A cogeração nesse setor acontece nas usinas de rota integrada. Na rota semi-integrada, a recuperação dos Gases de Alto-Forno é baixa ou nenhuma [26].

Já na indústria de papel e celulose, é utilizado o licor negro, subproduto do tratamento químico, para fins de cogeração. A cogeração a partir da biomassa agrícola é comum na indústria de alimentos. A participação na oferta de energia a partir de biomassa pela da casca de arroz representou 1% do total em 2013, representando 36,42 MW em 9 usinas. A casca do arroz é um subproduto volumoso, representando cerca de 22% do arroz. Para cada MW de energia produzido, é necessário cerca de 1,2 a 1,3 ton de casca de arroz. A Camil, produtora de arroz instalada no Rio Grande do Sul, desde 2001 utiliza o farelo de arroz para a produção de energia elétrica e térmica. A empresa é autossuficiente em energia elétrica com venda de excedentes [27].

A cogeração por meio de biogás proveniente do tratamento de efluentes também é comum em indústrias de alimentos. Em uma fábrica de chocolate, localizada no estado do Espírito Santo, a geração de biogás a partir da digestão anaeróbica de efluentes industriais e sanitários tem potencial para atingir os 58.400 kWh/ano. Outra indústria com grande potencial de cogeração por meio do biogás é a cervejeira, que pode atingir 90 mil m³/mês de gás natural [28].

5.4.2 Aspectos gerais sobre viabilidade técnica e econômica

A viabilidade técnica e econômica da implantação da cogeração é dependente do tipo de indústria e dos processos industriais, que são únicos em cada segmento. Em geral, as seguintes características podem apontar o potencial positivo para a cogeração [24]:

- Alta demanda térmica, igual ou superior à elétrica;
- Demandas de energia térmica e elétrica constantes;
- Custos unitários de energia elétrica maiores que o de energia térmica;
- Mais de 60% da energia térmica é utilizada anualmente.

Segundo a GE, o investimento mínimo para instalação de projetos de cogeração é de US\$ 800/kW instalado [30]. Indústrias que produzem o combustível (GAF nas siderúrgicas, licor negro nas plantas de celulose, biogás ou biomassa nas plantas de alimentos, por exemplo) têm a vantagem de utilizar subprodutos da produção para a cogeração.

A Tabela 29 apresenta parâmetros relacionados à geração própria de energia na modalidade de geração distribuída, que poderiam ser vinculados a processos de cogeração – caso das fontes biogás, gases de carvoaria e calor de cimenteira. Destaca-se que são plantas de geração com alto fator de capacidade, o qual varia entre 65% e 90%, contudo possuem investimento inicial mais alto que outras fontes, os quais variam entre 8000 R\$/kW e 21.500 R\$/kW.

5.4.3 Recomendação

À medida que o setor de resposta da demanda industrial no Brasil ganha espaço e maturidade, seria possível investigar em maior detalhe a relevância das rotas de cogeração e a possibilidade de sinergias, que resultariam em custos diferentes no caso de uma indústria adotando soluções de cogeração no lugar de geração própria baseada em óleo diesel. Entretanto, com base no levantamento realizado, considerou-se que não há informações suficientes para respaldar o uso de um conjunto de hipóteses distintas para estas duas categorias de agentes neste momento.

Tabela 29 – Principais parâmetros relacionados implementação de plantas de geração distribuída [6].

Parâmetros principais	Unidade	Fotovoltaica	Biogás	CGH	Eólica	Gases de Carvoaria	Calor de Cimento
Fator de capacidade (FC)	%	18-24 (ca)	65%	49%	7-49%	90%	87,5%
Investimento inicial	R\$/kW	4.610	8.000	7.500	6.900	12.500	21.500
Custo de reforço da rede	R\$/kW	200	200	200	200	200	200
O&M Fixo	R\$/kW/ano	94	700	90	110	625	364
Vida útil	anos	25	15	30	20	20	30

5.5 Curva de oferta de RD pela rota geração própria

Estimamos que a indústria brasileira possui uma capacidade de geração própria existente, passível de ser utilizada em um eventual programa de resposta da demanda, de 835.7 MW, conforme mostrado na Tabela 21. Os custos para acionar essa capacidade (já descontando a remuneração variável obtida com a redução da conta de energia) variam entre 1038.1 R\$/MWh e 2028.66 R\$/MWh, a depender da potência do gerador utilizado e de suas economias de escala – conforme Tabela 26. Portanto, é preciso segmentar os 835.7 MW nas seis faixas de potência indicadas anteriormente. Esta segmentação é feita conforme as porcentagens indicadas na Tabela 30.

Essas porcentagens – exceto as correspondentes aos setores de alumínio primário e cloro, que serão explicadas mais adiante – foram obtidas a partir dos Boletins de Dados Horários de Consumo da CCEE de 2019 [1], analisando a relação entre os afundamentos discutidos na seção 5.2.1 e o montante contratado de cada agente. Por exemplo, para o setor de papel, a seção 5.2.1 revelou um afundamento de 67.5 MWmed. Destes, cerca de 1% (ver Em geral, toma-se o afundamento total de cada setor (considerando só o ACL) e identifica-se qual porcentagem deste afundamento está em empresas que contrataram: (i) menos de 1.2 MWmed (associadas a geradores próprios de 1-100 kVA); (ii) entre 1.2 e 2.5 MWmed (associadas a geradores de 101-250 kVA); (iii) entre 2.5 e 5 MWmed

(251-500 kVA); (iv) entre 5 e 10 MWmed (501-750 kVA); (v) entre 10 e 50 MWmed (751 kVA - 10 MVA); mais que 50 MWmed (geradores de mais de 10 MVA) – assumiu-se que a relação entre potência do gerador e tamanho da empresa é entre 5 e 10 vezes, aproximadamente.) estão em unidades industriais de pequeno porte, para as quais geradores de menor potência (menos de 100 kVA) seriam mais adequados – mais especificamente, consideramos unidades de pequeno porte aquelas que contrataram em 2019 uma carga menor que 1.2 MWmed. Outros 71.2% estariam em unidades industriais de grande porte – com uma carga contratada de mais de 50 MWmed – que poderiam considerar o uso de geradores de maior potência e eficiência, de mais de 10 MVA.

Em geral, toma-se o afundamento total de cada setor (considerando só o ACL) e identifica-se qual porcentagem deste afundamento está em empresas que contrataram: (i) menos de 1.2 MWmed (associadas a geradores próprios de 1-100 kVA); (ii) entre 1.2 e 2.5 MWmed (associadas a geradores de 101-250 kVA); (iii) entre 2.5 e 5 MWmed (251-500 kVA); (iv) entre 5 e 10 MWmed (501-750 kVA); (v) entre 10 e 50 MWmed (751 kVA - 10 MVA); mais que 50 MWmed (geradores de mais de 10 MVA) – assumiu-se que a relação entre potência do gerador e tamanho da empresa é entre 5 e 10 vezes, aproximadamente.

Tabela 30 – Fatores de distribuição da capacidade de geração própria entre faixas de potência de geradores.

Setor\Potência (kW)	1 - 100	101 -250	251 -500	501 -750	751 -10000	>10000
Saneamento	8.4%	9.3%	8.9%	63.5%	10%	0%
Datacenter	0%	0%	100%	0%	0%	0%
Alumínio primário	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Alumínio processado	0%	0%	100%	0%	0%	0%
Aço	0%	0.2%	0.8%	0%	25.7%	73.4%
Cloro	0%	0%	0%	0%	17.6%	82.4%
Cimento	0%	1.3%	4.9%	4.6%	73.3%	15.8%
Papel	1%	3.1%	10.7%	6.6%	7.4%	71.2%
Alimentos - carne	20.7%	15.6%	49.1%	0%	14.6%	0%
Alimentos - cerveja	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos - laticínios	29.8%	29.5%	0%	40.7%	0%	0%
Alimentos - outros	19.5%	27.0%	28.6%	25.0%	0%	0%

Em resumo, no programa de RD, a indústria brasileira poderia ofertar via geração própria existente 835.7 MW, distribuídos entre as faixas de potência/eficiência conforme Em geral, toma-se o afundamento total de cada setor (considerando só o ACL) e identifica-se qual porcentagem deste afundamento está em empresas que contrataram: (i) menos de 1.2 MWmed (associadas a geradores próprios de 1-100 kVA); (ii) entre 1.2 e 2.5 MWmed (associadas a geradores de 101-250 kVA); (iii) entre 2.5 e 5 MWmed (251-500 kVA); (iv) entre 5 e 10 MWmed (501-750 kVA); (v) entre 10 e 50 MWmed (751 kVA - 10 MVA); mais que 50 MWmed (geradores de mais de 10 MVA) – assumiu-se que a relação entre potência do gerador e tamanho da empresa é entre 5 e 10 vezes, aproximadamente., aos preços apontados na Tabela 27.

Para ofertar capacidades ainda maiores que os 835.7 MW, seria necessário alugar ou adquirir nova capacidade de geração própria. A premissa de custo que usaremos para estimar o potencial da rota de nova geração própria será o sobrecusto associado à locação de geradores a diesel mostrado na seção 5.3.3 (Tabela 28), que, como visto, é uma alternativa mais competitiva que a aquisição do gerador. As quantidades ofertadas por cada setor industrial pela rota de nova geração própria não poderiam superar a aceitabilidade geral do setor a programas de RD (Tabela 16) e assumimos que seriam distribuídas por faixa de potência de geradores pelas mesmas porcentagens da Tabela 30. Por exemplo, estimamos anteriormente que o setor de papel poderia prover 604 MWmed de RD (dada a aceitabilidade de 44% da Tabela 16 e que a demanda total

do setor é de aproximadamente 1379 MWmed segundo Tabela 3), dos quais 67.5 MWmed seriam por geração própria existente. Do montante restante, 1%, cerca de 5.5 MWmed poderia ser provido pela rota de nova geração própria na faixa de 1-100 kVA.

Vale observar que os setores de cloro e alumínio primário não possuem cargas com perfil afundado (ver seção 2.2), de modo que, para estes setores exclusivamente, os percentuais da Tabela 30 (que serão usados somente para a rota de **nova** geração própria, dado que não foi estimado um valor para geração própria existente) foram calculados a partir da distribuição do **consumo** do setor, ao invés da distribuição dos **afundamentos**. Ou seja, 17,6% do **consumo** do setor cloro (em 2019) se encontra em empresas com cargas contratadas de 10-50 MWmed, e 82,4% em empresas com mais de 50 MWmed contratados (a título de comparação, para o setor de papel 7.4% do **afundamento** do setor está em empresas com cargas contratadas de 10-50 MWmed).

Essas premissas são resumidas nos gráficos das Figuras 9 e 10, que mostram, para cada quantidade dos produtos (no eixo das abscissas), os preços (no eixo das ordenadas) requisitados pela indústria, considerando somente a rota de geração própria (o capítulo 7 consolidará a curva de oferta dos produtos unificando a rota geração própria com a rota redução/deslocamento de consumo, que será tratada no capítulo 6). O primeiro segmento dessas curvas, por exemplo, mostra que, até 358 MW o preço exigido é de 130,8 R\$/kW-ano para o produto demanda de ponta

e 809,7 R\$/kW-ano para o produto demanda média. Esse primeiro segmento corresponde à geração própria existente mais eficiente possível, de tamanho superior a 10 MVA. Para capacidades acima disso, os preços aumentam ainda mais. Até 638 MW, para o produto ponta, os preços são de 160,6 R\$/kW-ano, como mostra o segundo

segmento da curva, correspondente à autogeração existente de 751-10000 kVA. Já para o produto demanda média, o segundo segmento mais barato corresponde à autogeração nova acima de 10 MVA, cujo custo é de 833,55 R\$/kW-ano e pode prover mais 1011 MW.

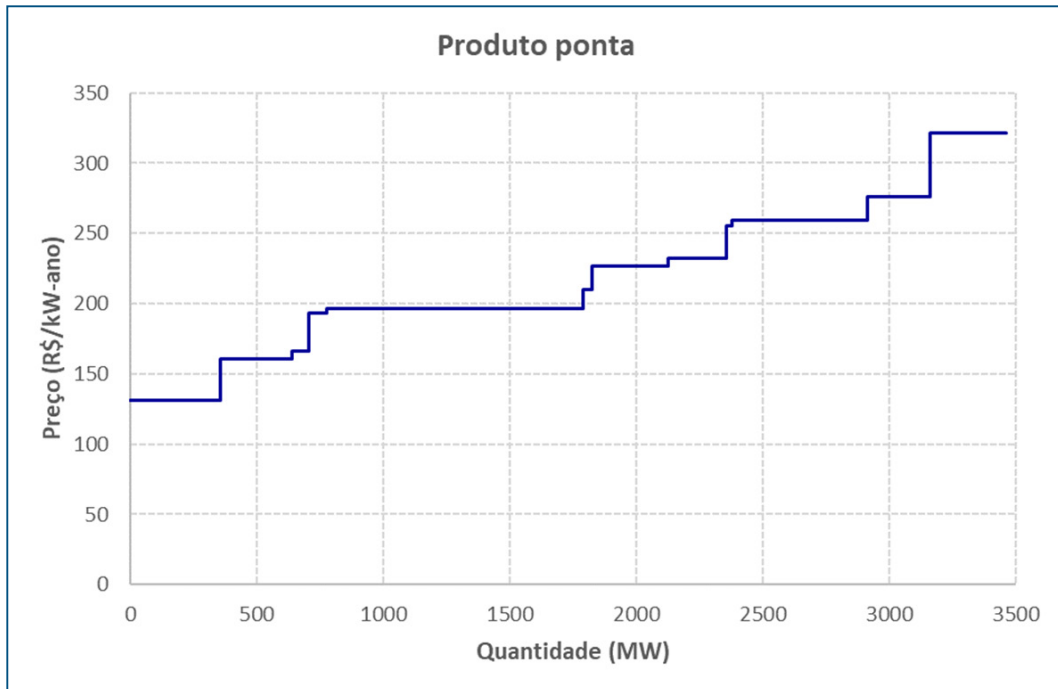


Figura 8 - Disposição da indústria a oferecer o produto demanda de ponta a partir de geração própria.

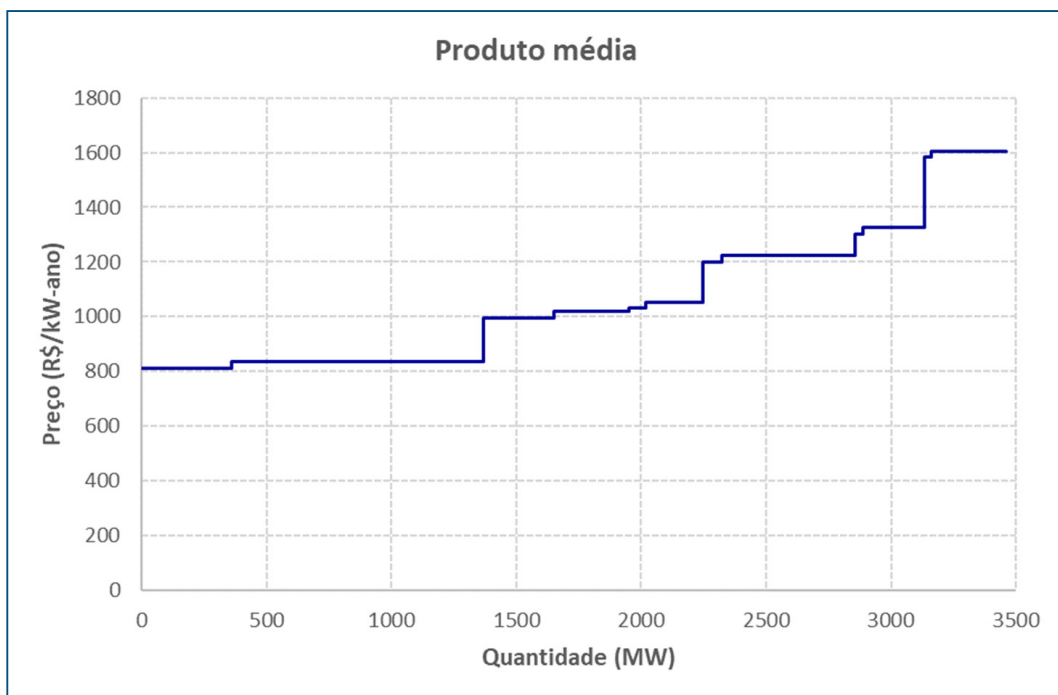


Figura 9 - Disposição da indústria a oferecer o produto demanda média a partir de geração própria

6. Quantificação do potencial: Rota redução/deslocamento

6.1 Fundamentos

Nesta rota, estão incluídas iniciativas que envolvam a redução e/ou deslocamento da demanda elétrica entre diferentes horas ou dias, utilizando flexibilidades existentes dos processos industriais. Faremos uma distinção entre iniciativas que envolvem e que não envolvem perda de produção, uma vez que os custos para a indústria são maiores no primeiro caso.

Dentre as iniciativas que não envolvem perda de produção, se destacam os deslocamentos temporais (entre horas ou dias) da produção – mas mantendo a produção total almejada no ano. Por exemplo, uma alternativa é o planejamento dos dias de manutenção de equipamentos energo-intensivos para que coincidam com aqueles de maior preço da eletricidade. Os custos envolvidos em uma iniciativa como essa podem ser praticamente nulos, uma vez que a parada para manutenção já seria realizada de todo jeito, e não há perda de produção. Por outro lado, pode ser necessário adiantar parte da produção para gerar estoques e fazer frente à demanda do período de parada.

Outras possíveis iniciativas de resposta da demanda que fazem parte dessa rota são: a interrupção de máquinas e processos industriais, priorizando processos de menor consumo elétrico; o uso de outras fontes energéticas – que não a eletricidade – em momentos ou dias de alto preço da eletricidade; a mudança de turnos de trabalho; o uso da inércia térmica dos processos para reduzir a demanda por carga térmica; entre outros.

Nas entrevistas realizadas com os agentes, percebeu-se uma grande resistência à adoção de medidas que envolvam a interrupção do processo industrial, com perda de produção. Para que essa rota (com perdas) se viabilizasse, seria necessário que o programa de resposta de demanda garantisse uma remuneração alta o suficiente para que a interrupção da produção fosse lucrativa para os agentes, assim como um programa de conscientização para provar a lucratividade do negócio.

As seções seguintes têm por objetivo estimar os custos e o potencial de iniciativas de resposta da demanda na rota de “redução/deslocamento do consumo”. A seção 6.2 faz esta estimativa para iniciativas de resposta da demanda sem perda de produção, enquanto a seção 6.3 discute o potencial para iniciativas com perda de produção. O objetivo final, assim como foi feito no capítulo 5, é estimar uma curva “preço vs. quantidade” de oferta desta rota de RD – indicando, para dado nível de preço, qual a capacidade de RD que os agentes estariam dispostos a prover por esta rota. A seção 6.4 apresenta essa curva, sintetizando as estimativas realizadas nas seções 6.2 e 6.3.

6.2 Redução/deslocamento do consumo sem perda agregada

6.2.1 Espaço para acomodar deslocamentos sem perda agregada

A estimativa do potencial de resposta da demanda na rota de redução/deslocamento do consumo sem perda agregada está baseada na análise realizada na seção 2.3 e no Anexo A - Tabelas e Gráficos Complementares ao Capítulo 2, sobre a quantidade de dias de baixo consumo das cargas de cada setor. A ideia é que se uma indústria já produz a plena capacidade durante quase o ano todo, há pouco espaço para deslocamento da produção de um dia para outro. Do contrário, se há reduções mais frequentes de consumo ao longo do ano, pode ser possível reprogramar esses períodos de menor demanda – otimizando a operação de estoques, se necessário – para que coincidam com períodos em que o balanço energético do sistema esteja com menos folga – por exemplo, períodos de seca.

Considerou-se que os MW de cada setor que ficam ao menos 32 dias do ano com consumo inferior a 5% da média anual (ver Figura 3) poderiam prover o produto de resposta da demanda “demanda média”. Também assumimos que as unidades que permanecem mais de 48 dias com um consumo desta magnitude podem também prover o produto RD “demanda ponta” (dado que o número máximo de acionamentos previstos para esse produto é de 48 dias por ano).

Além disso, supomos que as cargas que reduzem seu consumo em mais de 75% por ao menos 32 (ou 48) dias por ano também podem contribuir com o produto demanda média (ou ponta, respectivamente) com o montante de 75% de sua carga média. E se uma carga reduz seu consumo em mais de 50%, pelo mesmo montante mínimo de dias, também pode contribuir com 50% da sua carga média. Os valores de 32 e 48 guardam relação com o número de acionamentos dos produtos indicadas previamente (expectativa de 6.5 acionamentos para o produto média e máximo de 48 acionamentos para o produto ponta).

A Tabela 31 mostra esses valores. Para cada segmento industrial analisado, é listado: (i) na coluna “Carga”, o consumo total do respectivo setor no ano de 2019, em MWmed, considerando o consumo no ACL indicado nos Boletins de Dados Horários de Consumo da CCEE e as estimativas para o consumo no ACR mencionadas na seção ; (ii) nas colunas “32 dias” (e “48 dias”), o percentual das cargas do setor que ficaram mais de 32 (e 48) dias com consumo “baixo” (inferior a 5%, 25% ou 50% da média

anual, a depender da coluna) em 2019 – segundo a análise dos Boletins de Dados Horários de Consumo da CCEE discutida na seção e anexo; (iii) nas colunas “Potencial produto média” e “Potencial produto ponta”, os potenciais resultantes de aplicar as percentagens indicadas acima na carga total²¹.

Vale observar que a Tabela 31 é uma aproximação para o potencial de resposta de demanda sem perda de produção. Há uma série de incertezas em relação a estes valores, dentre os quais a aceitabilidade da indústria em relação à participação em um programa de resposta da demanda (ver Tabela 16) – fator que será considerado para construir a curva de oferta dos produtos na seção 6.4. Também há de se considerar que a análise de padrões de consumo históricos pode acabar por desconsiderar a possibilidade da adoção de novas medidas no setor industrial, como novos investimentos em otimização e automação de processos. Apesar dessas limitações, a metodologia traz insights importantes acerca do potencial de resposta da demanda da indústria.

Tabela 31 – Estimativa do percentual da carga capaz de oferecer resposta da demanda pela rota redução/deslocamento sem perda de produção.

	Carga (MW-med)	32 dias			Potencial produto média (MW-med)	48 dias			Potencial produto ponta (MW-med)
		<5%	<25%	<50%		<5%	<25%	<50%	
Aço	1720	1.7%	12.1%	31.1%	327	1.6%	9.3%	18.2%	203
Alimentos – Carne	719	0.6%	21.3%	86.3%	350	0.3%	13.2%	74.0%	290
Alimentos - Cerveja	194	0.02%	2.4%	14.2%	15	0.02%	2.3%	7.7%	9
Alimentos - Laticínios	104	-	0.3%	10.0%	5	-	0.3%	4.3%	2
Alimentos - Outros	1741	5%	30%	63%	699	3%	22%	53%	574
Alumínio - Primário	1032	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio - Processado	312	0.3%	4.0%	7.2%	15	0.3%	3.1%	6.1%	12
Cimento	606	0.5%	6.1%	35.5%	117	0.5%	4.5%	13.3%	48
Cloro	369	0.0%	34.9%	34.9%	97	-	34.9%	34.9%	97
Datacenter	88	-	-	0.1%	0.06	-	-	0.1%	0.06
Papel	1379	6.2%	18.6%	27.1%	272	3.2%	10.2%	20.2%	185
Saneamento	1333	2.2%	6.0%	6.4%	70	1.4%	3.7%	5.8%	55

21 Ou seja, os potenciais da tabela são calculados pela fórmula: $Carga \times [Percentual_{<5\%} + (Percentual_{<25\%} - Percentual_{<5\%}) \times 75\% + (Percentual_{<50\%} - Percentual_{<25\%}) \times 50\%]$; com os percentuais das colunas “32 dias” para o produto demanda média e os percentuais das colunas “48 dias” para o produto demanda ponta.

6.2.2 Custo do deslocamento sem perda agregada

Deslocar a produção industrial envolve alguns custos, a depender da intensidade e frequência com que ocorrem os deslocamentos. Por exemplo, mudar o cronograma de paradas para manutenção (ou aproveitar momentos em que a unidade fabril seja acionada no âmbito do programa de resposta da demanda para realizar manutenções extras) pode envolver sobrecustos nos contratos com trabalhadores e fornecedores envolvidos nos trabalhos de manutenção. Também pode envolver custos com a logística de estoques. Um deslocamento horário da produção dentro de um mesmo dia, das horas de ponta para horas fora de ponta, com mudança de turno dos empregados, envolverá o pagamento de horas extras. Mais que isso, o envolvimento das indústrias com um programa de resposta da demanda pode necessitar da montagem de equipes especializadas para a atuação nesta área.

Assumindo que o principal custo envolvido na rota de deslocamento da demanda (sem perda de produção) sejam os custos com pessoal, é possível representar o custo desta medida como uma porcentagem dos mesmos. Tal porcentagem tende a ser maior para o produto ponta, especialmente se este estiver associado a uma mudança de turno dos trabalhadores; isso porque, para o produto média, cuja antecedência de aviso de acionamento é maior, de uma semana, há maior flexibilidade para remanejar as horas de trabalho e processos industriais. Inclusive, como explicado anteriormente, o remanejo de horas de manutenção, no caso do produto média, pode prescindir do pagamento de horas extras.

No caso do produto ponta, adotou-se uma porcentagem de 15% para os sobrecustos envolvidos, assumindo-se que não haveria pagamento de hora extra, mas apenas o uso de flexibilidades dos processos industriais, tais como alteração dos dias de parada e manutenção. Os sobrecustos neste caso corresponderiam à montagem de equipes destinadas à resposta da demanda e eventuais sobrecustos contratuais. No caso do produto ponta, assumimos adicionalmente uma remuneração de hora extra 50% acima da remuneração em horas normais, a ser paga somente para uma parcela de 75% dos trabalhadores (já que nem todos os trabalhadores da unidade fabril precisariam necessariamente trabalhar horas extras). A hipótese de 75% dos trabalhadores pode ser considerada conservadora.

O sobrecusto anual depende também do número de acionamentos no ano de cada produto no âmbito do programa de resposta da demanda. No pior caso, o produto “demanda média” seria acionado 8 vezes no ano, enquanto o produto “demanda ponta” seria acionado 48 vezes. No entanto, é esperado que o número de acionamentos seja menor e o preço exigido pelos participantes do programa dependerá da distribuição de probabilidade desse número de acionamentos. Para estimar os sobrecustos dos dois produtos, assumiu-se um número de acionamentos por ano de 6.5 para o produto demanda média e 42 para o produto ponta.

Os resultados dos cálculos são mostrados na Tabelas 32, onde também é mostrado o gasto total com pessoal de cada segmento, baseado em dados de 2019.

Tabela 32 – Custos para ofertar os produtos média e ponta a partir da rota redução/deslocamento sem perda de produção.

Atividade	Gasto com pessoal [43] (R\$/kW-ano)	Sobrecusto produto média (R\$/kW-ano) ²²	Sobrecusto produto ponta (R\$/kW-ano) ²³
Aço	7281	97	134
Alimentos – Carne	33437	447	613
Alimentos - Cerveja	21314	285	391
Alimentos - Laticínios	59616	796	1093
Alimentos - Outros	31810	425	583
Alumínio - Primário	709	9	13
Alumínio - Processado	7466	100	137
Cimento	3371	45	62
Cloro	11819	158	217
<i>Datacenter</i>	1112	15	20
Papel	6626	89	122
Saneamento	12947	173	237

6.3 Redução/deslocamento do consumo com perda agregada

Iniciativas de resposta da demanda que envolvam perda de produção, tais como a interrupção parcial ou total da produção industrial, são em geral mais caras, por envolverem a perda de receita de vendas. Em parte, por conta disso, existe bastante resistência dos agentes à implementação de tais medidas. Não obstante, calcularemos aqui os custos envolvidos nesta rota.

Na metodologia aplicada, utilizamos o “custo do déficit” conforme apresentado na seção 3.4 (Tabela 12). Esse custo de déficit deve ser multiplicado pelo número de horas de acionamento da resposta da demanda ao longo do ano para que se obtenha o que denominamos de “linha de base para o custo”. Da mesma forma que foi feito para o caso do deslocamento sem perda de produção, assumimos um número de acionamentos para a linha de base de 42 vezes por ano para o produto ponta e 6.5 para o produto média. Essa linha de base, no entanto, pode ser pessimista, no sentido de que o operador pode acabar acionando a resposta da demanda menos que este número de vezes; ou mesmo otimista, caso seja necessário interromper o processo industrial por um período maior que o tempo de acionamento do programa de resposta da demanda – por exemplo, se for impossível parar a operação de um

equipamento por apenas 3 horas, tempo previsto para o produto ponta, e for necessário interrompê-lo por mais tempo para atender a um acionamento deste produto.

Há também uma parcela de incerteza na componente de custos evitados, que pode tornar a linha de base mais otimista, caso tenham sido sobrestimados – ou o contrário. Por exemplo, o pagamento de certos serviços e insumos industriais pode estar vinculado a contratos que terão que ser pagos mesmo que tais insumos não sejam utilizados – e não possam ser armazenados para uso futuro.

Portanto, o custo de déficit efetivamente percebido pelas indústrias acaba sendo uma distribuição de probabilidade ao redor da linha de base, que depende de uma série de circunstâncias específicas de cada unidade fabril e da frequência efetiva de acionamento do programa de resposta de demanda.

A Tabela 33 resume os custos de déficits estimados para cada segmento e produto, na rota de redução/deslocamento do consumo com perda agregada, conforme a linha base.

22 A fórmula de cálculo é: $Gasto\ com\ pessoal \left[\frac{R\$}{kW-hora} \right] \times 15\% \times 6.5 \left[\frac{acionamentos}{ano} \right] \times 120 \left[\frac{horas}{acionamento} \right]$, em que 15% é o sobrecusto e as 120 horas se devem ao fato de que o produto seria acionado nos 5 dias úteis da semana.

23 A fórmula de cálculo é: $Gasto\ com\ pessoal \left[\frac{R\$}{kW-hora} \right] \times 128\% \times 42 \left[\frac{acionamentos}{ano} \right] \times 3 \left[\frac{horas}{acionamento} \right]$, com o sobrecusto de 128% sendo calculado através de $150\% \times 5\% + 15\%$, como explicado no texto.

Tabela 33 – Custos para ofertar os produtos média e ponta a partir da rota redução/deslocamento com perda de produção.

Atividade	Custo déficit média (R\$/kW-ano)	Custo déficit ponta (R\$/kW-ano)
Aço	5263	850
Alimentos – Carne	17654	2852
Alimentos - Cerveja	16639	2688
Alimentos - Laticínios	44609	7206
Alimentos - Outros	21776	3518
Alumínio - Primário	343	55
Alumínio - Processado	7952	1285
Cimento	1766	285
Cloro	6248	1009
<i>Datacenter</i>	16673	2693
Papel	3814	616
Saneamento	22381	3615

6.4 Curva de oferta de RD pela rota redução/deslocamento do consumo

Assim como fizemos para a rota geração própria na seção 5.5, o gráfico seguinte mostra a disposição da indústria brasileira a oferecer os dois produtos de resposta de demanda para cada nível de preço, considerando somente a rota redução/deslocamento do consumo. Cada segmento industrial pode ofertar quantidades dos produtos nos montantes indicados na seção 6.2.1 (Tabela 31) – com a ressalva que tais montantes devem ser multiplicados pela aceitabilidade da indústria (Tabela 16) – pelos custos estimados na seção 6.2.2 (Tabela 32). Acima dessas capacidades, iniciativas de resposta da demanda implicariam em perda de produção, aos custos mais altos indicados na seção 6.3 (Tabela 33).

Dito de outro modo, cada setor industrial adiciona às curvas de oferta dois segmentos:

- Um segmento associado à rota redução/deslocamento **sem** perda de produção, de menor custo, com a quantidade estimada na seção 6.2.1 e preço estimado na seção 6.2.2;
- Um segmento associado à rota redução/deslocamento **com** perda de produção, com quantidade limitada pela aceitabilidade do setor e preço estimado na seção 6.3.

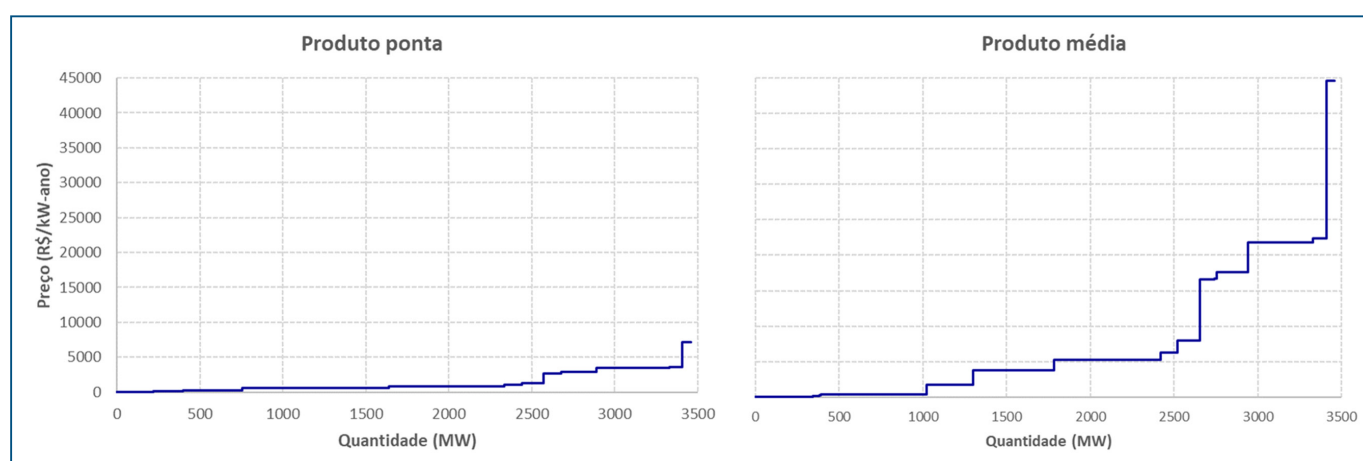


Figura 10 – Disposição da indústria a oferecer os produtos “demanda de ponta” e “demanda média” a partir de redução/deslocamento do consumo.

7. Consolidação do potencial total

7.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é consolidar as análises feitas ao longo deste caderno, estimando o potencial total para os dois produtos de resposta de demanda considerados: o produto “demanda de ponta” e o produto “demanda média”. A metodologia que usaremos será a de construir uma *curva de oferta* para os dois produtos, que mostra o quanto a indústria está disposta a oferecer de cada produto para cada nível de preços, assim como uma *curva de demanda*, que revela o benefício para o sistema elétrico – em termos de economia de custos – de cada quantidade oferecida de resposta de demanda (ou seja, a curva de demanda indica o quanto os agentes do setor elétrico estariam dispostos a pagar por cada quantidade dos produtos de resposta de demanda). O ponto de cruzamento entre as curvas de oferta e demanda equivale à estimativa final para o potencial de resposta de demanda – isto é, a quantidade e preço dos produtos de resposta da demanda que trariam benefícios econômicos tanto aos

agentes industriais como ao sistema elétrico.

As curvas de demanda foram construídas no Caderno 4 a partir de simulações computacionais do sistema elétrico brasileiro. Indica-se a leitura desse caderno para mais informações acerca de sua elaboração. Elas são mostradas no gráfico da Figura 11. Como esperado, o benefício da RD para o sistema elétrico **por MW** é decrescente na quantidade de resposta de demanda provida. Intuitivamente, a lógica é que os primeiros MW de resposta de demanda podem ser utilizados para diminuir o uso de uma térmica mais cara, enquanto os próximos MW fornecidos ainda trazem benefício ao sistema, mas serão utilizados para reduzir a geração de uma térmica mais barata – ou seja, seu benefício marginal é menor. Observa-se também que as curvas para os dois produtos (média e ponta) são bastante parecidas (quase superpostas uma à outra).

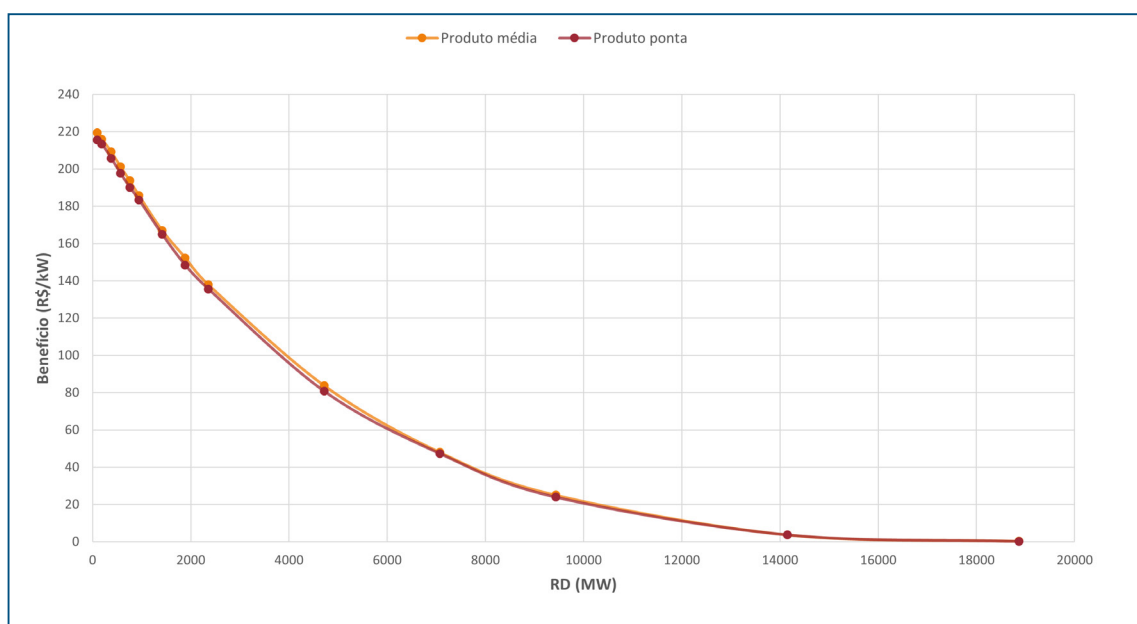


Figura 11 – Curvas de demanda de produtos de RD no Brasil.

Para construir curvas de oferta dos produtos de resposta de demanda para os segmentos industriais, é preciso conhecer o quanto de capacidade cada segmento estaria disposto a prover, e a qual custo. Essas capacidades e custos foram estimados ao longo dos capítulos 5 e 6 para quatro possíveis rotas de resposta da demanda:

1. Uso da capacidade de geração própria já existente, cuja capacidade foi estimada na seção 5.3.1 e cujos custos foram estimados na seção 5.3.2 (a capacidade disponível foi também dividida em 6 segmentos de custos, baseados nas faixas de potências de geradores próprios na seção 5.5);
2. Aluguel/aquisição de nova capacidade de geração própria, cujos custos foram estimados na seção 5.3.3;
3. Redução/deslocamento do consumo sem perda de produção, cujo potencial em MWmed foi estimado na seção 6.2.1 e os custos, na seção 6.2.2;
4. Redução/deslocamento do consumo com perda de produção, cujos custos foram estimados na seção 6.3

No caso das rotas “aluguel/aquisição de nova capacidade de geração própria” e “redução/deslocamento com perda de produção”, não foram estimadas quantidades máximas que os segmentos industriais poderiam oferecer. Isto porque, em teoria, uma indústria pode instalar o quanto quiser de geração própria ou interromper totalmente a sua produção, se economicamente atrativo, e oferecer o uso dessas iniciativas no âmbito do programa de resposta da demanda²⁴. Ou seja, a quantidade máxima de resposta de demanda que pode ser oferecida nessas rotas acaba equivalendo ao próprio consumo elétrico da indústria. Na prática, para efeitos deste relatório, as quantidades dessas duas rotas estarão limitadas à aceitabilidade da indústria, discutida na seção 4.1.

Vale recordar que o parâmetro de aceitabilidade (mostrado na Tabela 16) representa a razoabilidade geral de um determinado segmento industrial se engajar em programas de resposta da demanda. Essa propensão pode aumentar futuramente conforme o programa de resposta da demanda se consolida e seja aperfeiçoado, atraindo cada vez mais agentes.

Em resumo, as curvas de oferta para os produtos demanda de ponta e demanda média, a serem construídas nas próximas seções, utilizam os parâmetros de custos e quantidades (ou aceitabilidades) estimados para as 4 rotas destacadas acima. Construiremos duas curvas de oferta para cada produto: uma considerando a possibilidade de uso de geração própria e outra sem considerá-la. Isso porque, a depender dos objetivos a serem alcançados com o programa de resposta de demanda (por exemplo, redução de emissões de gases de efeito estufa), pode

ser de interesse impedir que a geração própria entre no programa.

A seção 7.2 estima o potencial de resposta de demanda caso a geração própria não possa participar do programa. A seção 7.3 considera também a adoção de geração própria para construção da curva de oferta.

7.2 Potencial de resposta da demanda sem geração própria

Nesta seção, construiremos curvas de oferta para os dois produtos de resposta da demanda sem considerar a rota de geração própria. Cada um dos setores industriais adiciona às curvas de oferta dois segmentos:

- Um segmento associado à rota redução/deslocamento **sem** perda de produção, de menor custo, com a quantidade estimada na seção 6.2.1 e preço estimado na seção 6.2.2;
- Um segmento correspondendo à rota redução/deslocamento **com** perda de produção, de maior custo, com quantidade limitada pela aceitabilidade do setor industrial e preço estimado na seção 6.3;

Como resultado, as curvas de oferta para os dois produtos são exatamente aquelas mostradas na Figura 10 da seção 6.4. Essa figura mostra todos os 24 segmentos (2 para cada um dos 12 setores industriais, considerando as subdivisões mostradas na Figura 1) das curvas de oferta. No entanto, pode-se observar que muitos dos segmentos das curvas de oferta estão bastante acima do intervalo de preços mostrado nas curvas de demanda (Figura 11). Ou seja, estão associados a iniciativas de resposta de demanda que custam mais do que o benefício que trariam ao sistema.

A figura seguinte mostra, no mesmo gráfico, a curva de demanda (em laranja) e as curvas de oferta (em azul), para os dois produtos – as mesmas curvas da Figura 11 e da Figura 10, respectivamente, mas com uma escala diferente, com menos segmentos para as curvas de oferta. O objetivo é observar o ponto de cruzamento da oferta com a demanda.

²⁴ Instalar uma quantidade muito grande de geração própria pode levar a custos adicionais, como compra ou aluguel de mais espaço físico para acomodar os geradores, ou custos da logística de operação, pessoal e combustível. Esse efeito não está sendo considerado neste trabalho.

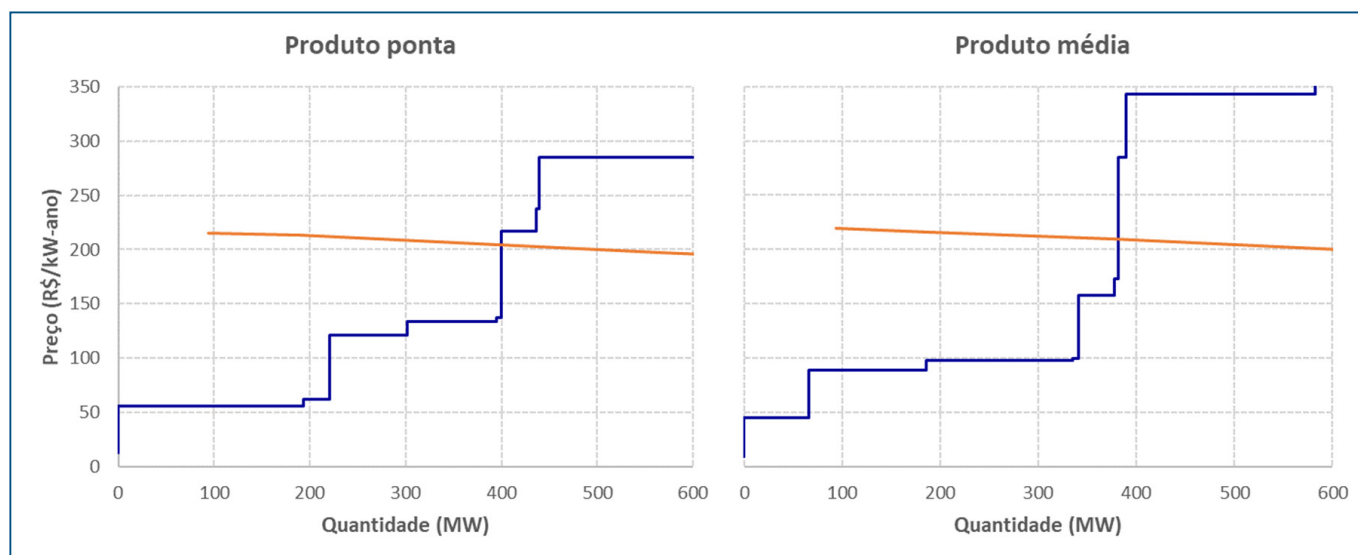


Figura 12 – Cruzamento das curvas de oferta e demanda para os produtos de RD sem considerar a rota de geração própria.

O cruzamento da oferta com a demanda ocorre, para o produto demanda de ponta, a um preço de 204.82 R\$/kW-ano e quantidade de 400 MW. Para o produto demanda média, o preço é de 209.02 R\$/kW-ano e quantidade de 382 MW. Essas seriam as quantidades ofertadas dos dois

produtos, se não houvesse a possibilidade de uso de geração própria. As quantidades oferecidas por cada setor industrial, em cada rota, são mostradas nos quadros da Tabela 34.

Tabela 34 – Quantidades ofertadas dos produtos de RD por setor e rota (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto ponta		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	93.1
Alumínio - primário	Redução/deslocamento <i>com</i> perda de produção	193.5
Alumínio - processado	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	5.3
Cimento	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	26.8
Papel	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	81.0
Total		399.6

Produto média		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	149.7
Alumínio - processado	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	6.4
Cimento	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	66.0
Cloro	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	36.2
Papel	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	119.1
Total		381.8

Os setores industriais e rotas que não aparecem nas tabelas acima possuem custos acima do preço de equilíbrio do respectivo produto.

Percebe-se que o único setor industrial que participa da resposta de demanda pela rota redução/deslocamento com perda de produção é o de alumínio primário. Isso explica-se pelo fato de ser um setor para o qual a eletricidade é um insumo bastante importante, o que implica em um custo de déficit mais baixo – dado que o consumo de eletricidade entra no denominador no cálculo da perda de receita por kWh interrompido (ver Tabela 12). Essa rota (redução/deslocamento com perda de produção) também só é utilizada para o produto demanda de ponta (não para o produto demanda média), dado que a duração das interrupções para este produto é menor, de apenas algumas horas no ano – o que implica em um impacto financeiro com perda de produção menor do que o impacto do produto demanda média.

Para outros setores (fora alumínio primário), a rota de redução/deslocamento *com* perda de produção mostra-se demasiado cara, respaldando a forte resistência dos agentes industriais a adotar iniciativas de resposta da demanda que levem a prejuízo da produção de unidades fabris; resistência essa que foi fortemente expressa nas entrevistas com representantes industriais realizadas neste projeto. O setor de alumínio primário foi o único no qual a análise demonstrou que eventuais interrupções de produção podem fazer sentido do ponto de vista econômico.

Vale observar também que o potencial indicado acima para os dois produtos, sendo significativamente composto pela rota de redução/deslocamento *sem* perda de produção, está baseado na análise feita na seção acerca dos dias de menor consumo das unidades fabris. Portanto, não inclui estratégias que já não tenham sido usadas para reduzir o consumo em tais dias – há possivelmente espaço para a adoção de novas medidas tais como o uso de inércia térmica ou a substituição da eletricidade por outros recursos energéticos nos processos industriais.

7.3 Potencial de resposta da demanda com geração própria

Consideremos agora a possibilidade de utilizar geração própria para oferecer os produtos de resposta de demanda. Neste caso, cada setor industrial irá escolher as rotas menos custosas para ofertar resposta da demanda, limitadas às capacidades de cada rota. Por exemplo, o setor de alumínio processado pode ofertar 5.3 MW do produto demanda de ponta através da rota de redução/deslocamento sem perdas, a um custo de 136.92 R\$/kW-ano (a rota mais barata para este setor), além de 1.6 MW do produto demanda de ponta através da rota de geração própria existente (ver estimativas de geração própria existente para cada setor na seção) a um preço de 193.62 R\$/kW-ano (a segunda rota mais barata)²⁵. Dadas as restrições de aceitabilidade do setor (Tabela 16), seria possível ainda ofertar mais 130 MW desse produto, mas essa oferta se daria através da rota de aluguel/aquisição de nova capacidade de geração própria, cujo custo é de 259.62 R\$/kW-ano (ver seção 5.5), e não através da rota de redução/deslocamento com perda de produção, que custa significativamente mais (1284.53 R\$/kW-ano).

As curvas de oferta resultantes para os dois produtos são mostradas na figura seguinte. Em relação às curvas de oferta da seção 7.2, que não consideravam geração própria, observa-se uma redução significativa dos níveis de preços. Por exemplo, os patamares mais altos das curvas de oferta no caso sem geração própria (Figura 10) eram de 7206 R\$/kW-ano e 44609 R\$/kW-ano para os produtos ponta e média, respectivamente. Considerando a possibilidade do uso de geração própria (Figura 13), os patamares mais caros se reduzem a preços de 321.61 R\$/kW-ano para ponta e 1606.19 R\$/kW-ano para média. Isso se deve a que a geração própria fornece à indústria uma alternativa bastante mais barata para fornecer os produtos de resposta da demanda – na faixa de 130.8 R\$/kW-ano (no caso da autogeração existente mais eficiente considerada) a 321.61 R\$/kW-ano (caso da aquisição/aluguel de novas capacidades de geração própria de menor eficiência) para o produto ponta e de 809.72 R\$/kW-ano (geração existente mais eficiente) a 1606.19 R\$/kW-ano (nova geração, menos eficiente) para o produto demanda média. Consequentemente, iniciativas de redução/deslocamento do consumo que tinham custos superiores a tais níveis deixam de ser consideradas, em favor do uso de geração própria – e, consequentemente, os patamares das curvas de oferta associados a tais iniciativas somem da curva. Tome o exemplo da redução/deslocamento com perda de produção da indústria de carne: na curva sem geração própria do produto ponta, tal iniciativa contribuía com um segmento de 214 MW a um preço de 2851.85 R\$/kW-ano; no entanto, considerando a geração própria, tal segmento não deve mais ser considerado, pois as indústrias poderiam prover esses mesmos 214 MW através de uma iniciativa mais barata (a geração própria).

25 O valor de 5.3 MW vem da Tabela 31, multiplicado pela aceitabilidade do setor (Tabela 16). O preço de 194,39 R\$/kW-ano vem da Tabela 27, notando que o setor de alumínio processado só possui unidades industriais correspondentes à faixa de 251-500 kVA (Tabela 30).

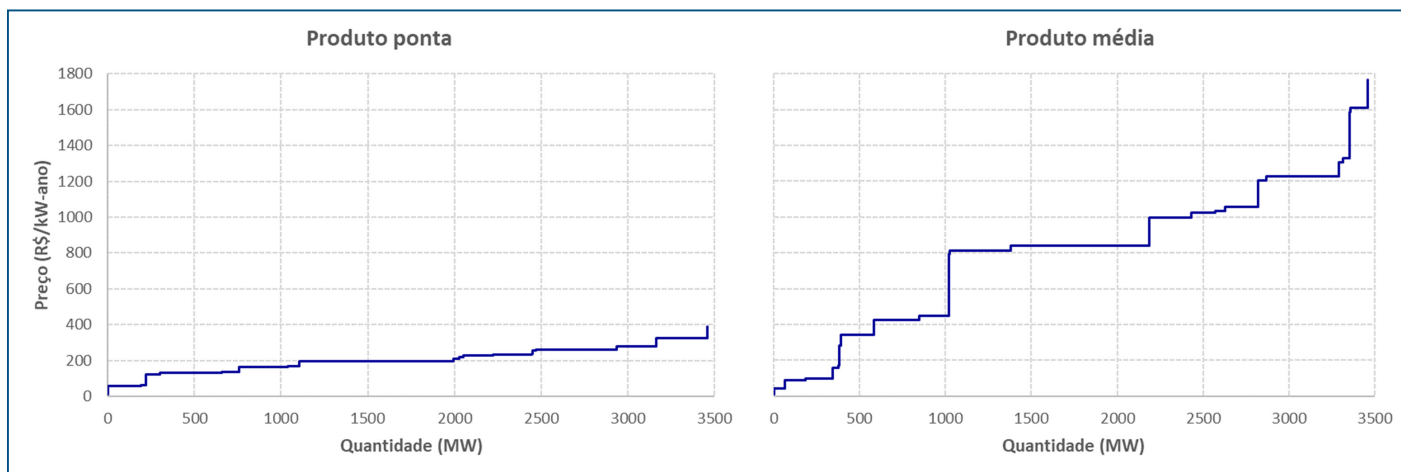


Figura 13 – Curvas de oferta para os produtos de RD, considerando as rotas de geração própria e de redução/deslocamento do consumo.

Cabe observar que, para o produto demanda média, o efeito da autogeração na curva de oferta é menor, dado os custos maiores para esse produto, em relação ao produto ponta, o que desloca menos patamares da curva de oferta. De fato, o cruzamento da curva de demanda com a curva de oferta do *produto média* se dá ao mesmo preço e quantidade que no caso que não considerava o uso de geração própria. Portanto, as quantidades ofertadas por cada setor industrial e rota são as mesmas que as

mostradas na Tabela 34 para este produto – motivo pelo qual suprimimos o gráfico mostrando o cruzamento das curvas de demanda e oferta para o produto demanda média.

No caso do produto demanda de ponta, o cruzamento entre as curvas de oferta e de demanda se dá ao preço de 177.15 R\$/kW-ano e quantidade de 1104 MW, conforme mostram o gráfico da Figura 14 e a Tabela 35.

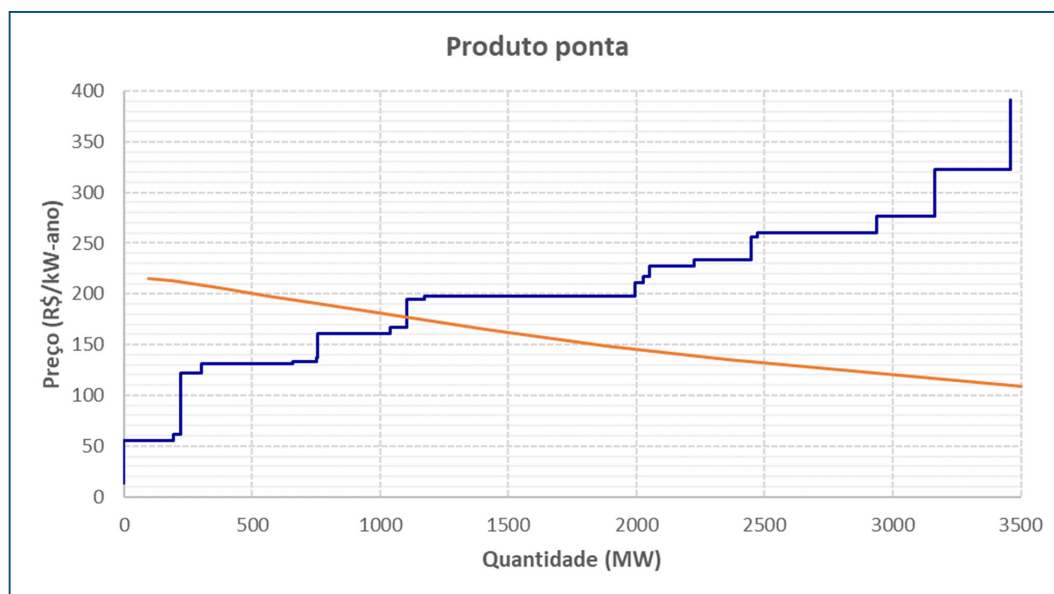


Figura 14 – Cruzamento da curva de oferta e demanda para o produto demanda de ponta, considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria.

Tabela 35 – Quantidades ofertadas dos produtos de RD por setor e rota (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto ponta		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	93.2
	Geração própria existente – >10 MVA	266.1
	Redução/deslocamento sem perda de produção	93.1
Alimentos - carne	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	2.1
Alimentos - laticínios	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	1.2
Alimentos - outros	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	18.8
Alumínio - primário	Redução/deslocamento com perda de produção	193.5
Alumínio - processado	Redução/deslocamento sem perda de produção	5.3
Cimento	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	11.0
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	174.5
	Geração própria existente – >10 MVA	37.7
	Redução/deslocamento sem perda de produção	26.8
Papel	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	5.0
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	5.6
	Geração própria existente – >10 MVA	54.0
	Redução/deslocamento sem perda de produção	81.0
Saneamento	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	30.5
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	4.8
Total		1,104.2

Como se observa na tabela, permitir o uso de geração própria no programa de resposta a demanda (para prover o produto demanda de ponta) acaba por aumentar significativamente o potencial de resposta da demanda industrial, de 400 MW (seção 7.2) para 1104 MW. A diferença (de 704 MW) seria provida inteiramente por geração própria já existente. A conclusão é que é preciso avaliar com cuidado a abertura do programa de demanda para a rota de geração própria, uma vez que tal abertura tornaria esta a rota dominante, com prejuízos para o meio ambiente – dado o provável uso de combustíveis fósseis. O uso de geração própria pela indústria também poderia ser menos eficiente que o investimento em nova geração centralizada.

Por outro lado, cabe observar que (i) não haveria incentivo para investimentos em novos geradores próprios (somente a geração já existente seria usada); e (ii) somente geradores próprios mais eficientes (com escala maior que 500 kVA) seriam capazes de prover o produto demanda de ponta a preços competitivos. Tais observações minimizam (mas não eliminam) os eventuais impactos negativos que o uso da geração própria poderia trazer ao meio ambiente e à eficiência do sistema.

7.4 Cálculo do benefício social

Vamos calcular o benefício social dos produtos de resposta da demanda “ponta” e “média” a partir do conceito de *excedente econômico*. O excedente econômico é a área entre as curvas de demanda e oferta de um produto, marcada em vermelho na Figura 15.

A soma das áreas vermelha e verde na Figura 15 (a integral da curva de demanda) é o benefício para a sociedade da redução dos custos operativos do sistema elétrico, devido à inserção da resposta da demanda. Desse valor, devem se remover os custos de prover RD: a área verde (integral da curva de oferta). Por este motivo, a área vermelha (o excedente econômico) acaba sendo o benefício social da resposta da demanda.

Calculando o excedente econômico a partir dos gráficos da Figura 12 e Figura 13, chegamos aos valores da Tabela 36. Vale observar que esse cálculo não considera os custos ambientais e de saúde envolvidos no uso de geração própria poluente para prover RD.

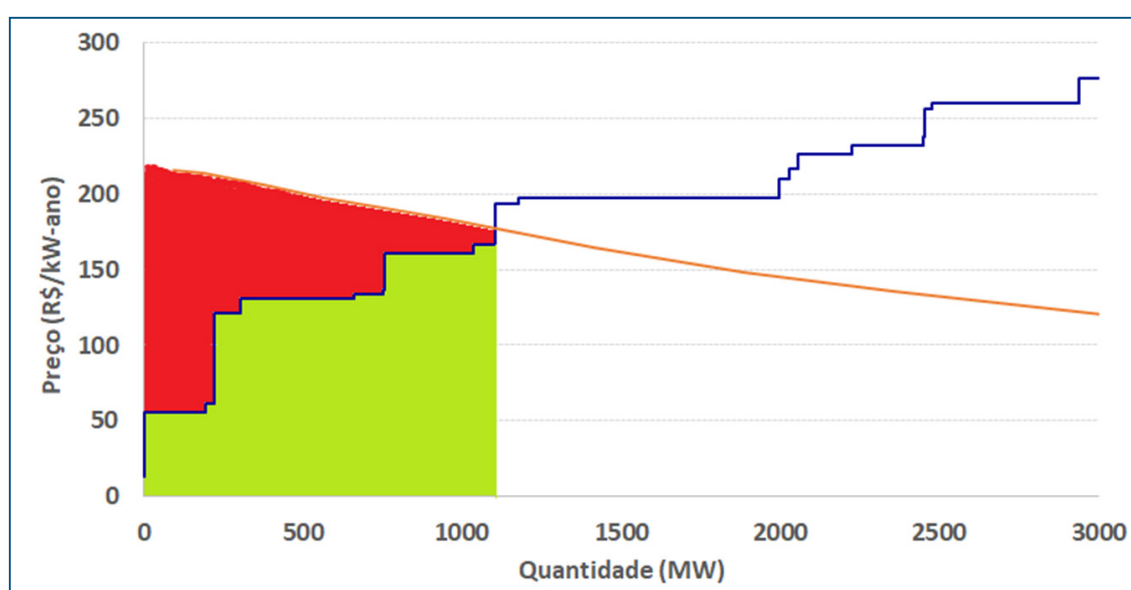


Figura 15 – Ilustração do conceito de excedente econômico.

Tabela 36 – Benefício social dos produtos ponta e média.

Produto	Benefício social (milhão R\$/ano)
Ponta sem geração própria	48.3
Média sem geração própria	45.0
Ponta com geração própria	75.4
Média com geração própria	45.0

8. Conclusões

Há muitos desafios metodológicos na estimação do potencial de resposta da demanda industrial brasileiro. A metodologia proposta neste trabalho buscou compatibilizar a disponibilidade de dados, o nível de detalhamento e a capacidade de contemplar as diferentes características das rotas de resposta da demanda. A abordagem usa como principal insumo os dados históricos de consumo dos boletins publicados mensalmente pela CCEE, com resolução horária, estimando, a partir deles, a flexibilidade das unidades industriais em termos das rotas de geração própria e redução/deslocamento do consumo.

Tais informações são combinadas com estimativas de custos para as diferentes rotas para formar curvas de oferta de produtos de resposta de demanda. Simulações computacionais da operação do sistema elétrico são feitas para produzir uma curva de demanda – o que foi feito no Caderno 4 – que indica o valor da resposta de demanda para os consumidores. O cruzamento das duas curvas resulta em preços e quantidades para os produtos de resposta de demanda.

Foram analisadas quatro rotas de resposta de demanda: geração própria existente, nova geração própria, redução/deslocamento de consumo sem perda de produção e redução/perda de consumo com perda de produção; além de dois produtos de resposta de demanda, a saber, demanda média e demanda ponta, sob dois cenários: considerando a possibilidade de geração própria ou não. As quantidades, preços e benefício social para os dois produtos, segundo cenário, são mostradas na Tabela 37.

Tabela 37 – Quantidades e preços para os produtos ponta e média.

Produto	Quantidade (MW)	Preço (R\$/kW-ano)	Benefício social (milhão R\$/ano)
Ponta sem geração própria	400	204.82	48.3
Média sem geração própria	382	209.02	45.0
Ponta com geração própria	1104	177.15	75.4
Média com geração própria	382	209.02	45.0

Como principais conclusões, podemos citar:

- **A escolha de incorporar ou não a geração própria em um programa de resposta de demanda tem um grande impacto nos resultados esperados do programa, principalmente se esta for usada para prover flexibilidade no horário de ponta.** Como mostra a tabela acima, a capacidade da indústria prover o produto demanda de ponta aumenta significativamente caso a geração própria seja permitida, de 400 MW para 1104 MW. Consequentemente, o preço de equilíbrio cai de 204.82 R\$/kW-ano para 177.15 R\$/kW-ano. A análise parece demonstrar que tal mecanismo de resposta da demanda criaria um forte incentivo para que as unidades industriais com geradores próprios de grande escala os pusessem a disposição do operador para utilização nas horas de ponta.
- **De acordo às premissas utilizadas, permitir o uso de geração própria não levaria a um incentivo para investimentos em novas capacidades de geração.** No entanto, vale observar que outras premissas e análises poderiam alterar tal resultado. Em particular, se fosse possível para os agentes reduzir ainda mais o custo de aluguel dos geradores em relação aos aqui assumidos (por exemplo, diminuindo o número de dias de aluguel ou através de negociações com fornecedores), a rota de nova geração própria poderia ser viável. Além disso, apesar de que a redução do preço de equilíbrio do produto ponta de 204.82 R\$/kW-ano para 177.15 R\$/kW-ano quando da introdução da rota de geração própria não ter deslocado segmentos da rota de redução/deslocamento do consumo na nossa modelagem, é bastante possível que isto se deva somente a limitações da modelagem. Isto é, na prática podem existir unidades industriais dispostas a prover iniciativas de RD na faixa de preços entre 177.15 e 204.82 R\$/kW-ano, e que não poderiam competir com os preços da geração própria existente.

- ***Os setores com maior capacidade de prover resposta de demanda pela rota de redução/deslocamento do consumo são os de aço, alumínio, cimento e papel, para os dois produtos de resposta de demanda.*** Os setores de cloro e saneamento também podem contribuir no caso do produto de demanda média. Isso pode ser visto na Tabela 34.
- ***A rota de redução/deslocamento com perda de produção é em geral bastante cara, no entanto, pode fazer sentido para setores industriais cujo gasto com eletricidade seja bastante significativo e para produtos de resposta de demanda com acionamentos de menor duração.*** Nossa análise identificou potencial no setor de alumínio primário, para o produto ponta, como pode ser visto na Tabela 34.

Por fim, vale ressaltar que a metodologia empregada neste relatório pode ser naturalmente estendida para incorporar novos produtos e rotas (uma rota particularmente interessante e que não foi analisada aqui seria a de investir em novas capacidades de cogeração para priorizar a geração de eletricidade, em detrimento ao calor, em momentos de maior preço da energia), analisar o potencial de RD por região, e adotar diferentes cenários e premissas (por exemplo, um aumento da aceitabilidade geral da indústria acerca de programas de resposta de demanda). Além disso, os resultados podem ser facilmente atualizados, uma vez que as principais fontes de dados são relatórios e pesquisas publicados periodicamente por instituições brasileiras como a CCEE e o IBGE.

Há, evidentemente, ressalvas importantes nesta metodologia, que podem ser complementadas por outras análises e trabalhos futuros. Por exemplo, sendo o principal insumo da metodologia os padrões de consumo históricos da indústria, a possibilidade de adoção de novas medidas e investimentos pode acabar sendo subestimada. Uma abordagem *bottom-up*, que analise os potenciais de investimento em cada indústria específica poderia trazer benefícios importantes para as estimativas aqui realizadas. Em relação aos dados utilizados, vale destacar que as premissas de geração própria existente e disponíveis para programas de RD podem ser aprimoradas, em especial nos setores de aço e *datacenter*.

A modelagem de resposta de demanda é um campo que vem se desenvolvendo bastante ao longo dos últimos anos. À medida que o setor amadurece, refinamentos metodológicos poderiam ser aplicados e até mesmo abordagens inteiramente novas poderiam fazer parte das estratégias dos agentes para prover flexibilidade ao sistema.

Referências

- [1] CCEE. Boletim de Dados Horários de Consumo. <https://www.ccee.org.br/web/guest/acervo-ccee>
- [2] TechinBrazil (2015). Maiores Data Centers no Brasil. <https://techinbrazil.com.br/maiores-data-centers-no-brasil>
- [3] Forum Editorial. Anuário Telecom. <https://www.forumeditorial.com.br/anuario-telecom/>
- [4] EPE (2020). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020: ano base 2019. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>
- [5] EPE (2015). Nota técnica DEA 01/15 - Estimativa da capacidade de geração distribuída no SIN: aplicações no horário de ponta.
- [6] EPE. Plano Decenal de Energia 2031. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-637/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf
- [7] Starke, Michael; Alkadi, Nasr (2013). Assessment of Industrial Load for Demand Response across U.S. Regions of the Western Interconnect. <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub45942.pdf>
- [8] RTE. Demand response call for tenders: specifications, general conditions, contract templates and summary reports. <https://www.services-rte.com/en/learn-more-about-our-services/benefit-from-a-support-mechanism.html>
- [9] Metalurgista Industrial (2020). Gás de alto-forno e cogeração de potência elétrica. 2020. <http://www.metalurgistaindustrial.com.br/adm/upload/Casos/2020330173052a.pdf>
- [10] Chaves, Enrico Lara (2013). Gestão ambiental do gás do alto forno e avaliação dos sistemas de controle atmosféricos de siderúrgica, viabilizando um sistema de geração de energia elétrica. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/123023/325534.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP) (2017). Termelétrica da CSP já gerou 1.150.000 MWh. Acessado em 2022. Disponível em <https://www.cspecem.com/pt-br/2017/07/termelétrica-da-csp-ja-gerou-1-150-000-mwh/>
- [12] Aço Verde do Brasil (AVB) (2020). Relatório Anual de Sustentabilidade AVB. <https://avb.com.br/wp-content/uploads/2020/05/RELAT%C3%93RIO-DE-SUSTENTABILIDADE-Rev.-Final.pdf>
- [13] Gerdau (2022). Relatório Anual 2021. https://www2.gerdau.com.br/wp-content/uploads/2022/08/relatorio_anual_gerdau_2021.pdf
- [14] ArcelorMittal. Gestão de Energia e Mudanças Climáticas. Acesso em 2022. Disponível em <https://brasil.arcelormittal.com/sustentabilidade/meio-ambiente/arcelormittal-tubarao/gestao-energia-mudancas-climaticas>
- [15] Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) (2021). Relato Integrado 2021. <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/29633c00-23f7-4765-9594-926012179477/acb451aa-7024-e064-92ed-bb5468a1bdfb?origin=1>
- [16] Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) (2022). CSN Energia. <https://www.csn.com.br/quem-somos/grupo-csn/csn-energia/>
- [17] Ternium (2020). Relatório de Sustentabilidade 2020. https://br.ternium.com/media/m4dn-frwm/reporte_de_sustentabilidad-1-_revanderson-_final.pdf
- [18] Revista Opiniões. Siderurgia e biomassa: uma solução mais sustentável. Acesso em 2022. Disponível em <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/5-siderurgia-e-biomassa-uma-solucao-mais-sustentav/>
- [19] Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2021). Balanço Energético Nacional 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>

- [20] Instituto Aço Brasil (2020). Relatório de Sustentabilidade 2020. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/assets/pdf/PDF-2020-Relatorio-Aco-Brasil-COMPLETO.pdf>
- [21] ANEEL (2017). Anexo 1 da Resolução Normativa N° 801, de 19 de dezembro de 2017.
- [22] Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN) (2021). Fomento da Cogeração de Energia e Climatização a Gás Natural.
- [23] Newton J. L. Duarte. Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN) (2019). Geração Termoelétrica a Gás Natural Tecnologias.
- [24] GasBrasiliano (2016). Guia de Cogeração e Geração de Energia Elétrica a Gás Natural, Programa P&D e C&R Ciclo 2014_2015.
- [25] Mello A. Revista Opiniões (2013). Siderurgia e biomassa: uma solução mais sustentável.
- [26] Fernandes, M (2021). Análises do Aproveitamento dos Gases de Alto-Forno para Cogeração de Energia Elétrica em uma Indústria Siderúrgica: Um estudo de caso. IFMG Bambuí.
- [27] Costa, A (2013). A Cogeração de Energia e a sua Inserção em Indústrias Arrozadeiras Utilizando a Casca de Arroz. Unijuí.
- [28] Pereira, F (2014). Avaliação da Produção de Biogás a partir da Digestão Anaeróbica: Estudo de Caso em uma Fábrica de Chocolate. Ufes.
- [29] Associação da Indústria de Cogeração de Energia- COGEN. Infográfico cogen <https://www.cogen.com.br/institucional/infografico-cogen/2022>
- [30] FIESP. Indústria investe em geração de energia para reduzir custos. <https://www.fiesp.com.br/sietex/noticias/industria-investe-em-geracao-de-energia-para-reduzir-custos/>
- [31] ZEITTEC Data Center Solutions. DATA CENTER TIER 3 x TIER 4: conheça as diferenças entre eles e saiba quando investir nesses ambientes de alta segurança! Disponível em: <https://zeittec.com.br/data-center-tier-3/>
- [32] HOST DIME Premier Global Data Center. Classificação TIER: O que é e como isso diferencia os Data Centers. Disponível em: https://hostdime.com.br/classificacao-tier-o-que-e-e-como-isso-diferencia-os-data-centers/?gclid=CjwKCAjwkaSaBhA4EiwALBgQaLMfcSunb8bSrN2QFv65LRBG_hF5yKLRWHR-dIXUMSVFKNe5vbl8bRxoCZuMQAvD_BwE
- [33] ZEITTEC Data Center Solutions. Nobreaks e geradores para Data Center: manutenção do UPS e do gerador do Data Center. Disponível em: <https://zeittec.com.br/data-center-tier-3/>
- [34] Ascenty. Ascenty instala usina de energia fotovoltaica no Data Center de São Paulo. Disponível em: <https://ascenty.com/blog/news-ascenty/ascenty-instala-usina-de-energia-fotovoltaica-no-data-center-de-sao-paulo/>
- [35] Data Center Dynamics. HostDime investe mais de R\$ 5 milhões em construção de usina solar fotovoltaica. Disponível em: <https://www.datacenterdynamics.com/br/not%C3%ADcias/hostdime-investe-mais-de-r-5-milh%C3%B5es-em-constru%C3%A7%C3%A3o-de-usina-solar-fotovoltaica/>
- [36] ZEITTEC Data Center Solutions. Data Center no Rio Grande do Sul. <https://zeittec.com.br/data-center-no-rio-grande-do-sul/>
- [37] ZEITTEC Data Center Solutions. Data Center Corporativo no rio de janeiro. <https://zeittec.com.br/data-center-corporativo-no-rio-de-janeiro/>
- [38] ZEITTEC Data Center Solutions. Data center em Santa Catarina. <https://zeittec.com.br/data-center-em-santa-catarina/>
- [39] ZEITTEC Data Center Solutions. Topologia de data centers com alta velocidade. <https://zeittec.com.br/topologia-de-data-centers-com-alta-velocidade/>
- [40] CCEE (2021). CCEE divulga atualização da função de Custo de Déficit para formação de preço em 2022. <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-divulga-atualizacao-da-funcao-de-custo-de-deficit-para-formacao-de-preco-em-2022>
- [41] ANP (2022). Levantamento de Preços de Combustíveis (últimas semanas pesquisadas). <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos-de-combustiveis-ultimas-semanas-pesquisadas>

- [42] Loxam degraus (2021). Quanto custa um gerador de energia? Veja como economizar com a Loxam Degraus. <https://degraus.com.br/quanto-custa-um-gerador-de-energia-veja-como-economizar/>
- [43] IBGE. Pesquisa Industrial Anual 2020, foco Produto (PIA-Produto). <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/tabelas/brasil/2020>
- [44] IBGE. Pesquisa Industrial Anual 2020, foco Empresa (PIA-Empresa). <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-empresa/tabelas/brasil/2020>
- [45] EPE. Relatórios técnicos do projeto Meta, TDR nº 17 - Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/projeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral-projeto-meta>
- [46] Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) (2020). Abastecimento de Água – 2020. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-abastecimento-agua>
- [47] Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) (2021). Anuário Estatístico Alumínio 2020. Disponível em: <https://abal.org.br/noticia/chegou-o-anuario-estatistico-2020-baixe-agora/>
- [48] Instituto Aço Brasil (2022). A Siderurgia em Números 2022. Disponível em: https://acobra-sil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/05/AcoBr_sil_Mini_anuario_2022.pdf
- [49] Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados (ABICLOR). Relatório Estatístico Janeiro/Dezembro 2020. Disponível em: http://www.abiclor.com.br/wp-content/uploads/2021/04/Relatorio_Abiclor_JANEIRO_DEZEMBRO_2020.pdf
- [50] Ministério de Minas e Energia (MME). Anuário Estatístico 2021: Setor de Transformação de Não Metálicos. Disponível: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos/anuario-estatistico-2021-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos-ano-base-2020.pdf/view>
- [51] Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). Relatório Annual Ibá 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>
- [52] Banco do Nordeste do Brasil (BNB) (2021). Caderno Setorial ETENE: Frango. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/821/1/2021_CDS_167.pdf
- [53] Banco do Nordeste do Brasil (BNB) (2021). Caderno Setorial ETENE: Indústria de Bebidas Alcolólicas. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1184/1/2021_CDS_161.pdf
- [54] Banco do Nordeste do Brasil (BNB) (2021). Caderno Setorial ETENE: Indústria de Alimentos. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/916/1/2021_CDS_176.pdf

Anexo A – Tabelas e Gráficos Complementares ao Capítulo 2

As três tabelas seguintes mostram o tempo (em número de dias por ano) em que as cargas industriais têm consumo inferior a 5%, 25% e 50% da média diária, complementando a análise da seção 2.3 (“Dias de menor consumo”). Os gráficos mostram a mesma informação das respectivas tabelas, com o objetivo de oferecer melhor visualização dos dados. São mostrados dois gráficos: um para os dias com consumo inferior a 25% da média, e outro para os dias com consumo inferior a 50% da média. O gráfico para dias de consumo inferior a 5% da média encontra-se na seção 2.3 (Figura 3), junto com uma explicação de como interpretar tais gráficos.

Tabela 38 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 5% da demanda média diária no ano.

Setor \ Dias	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Aço	16%	16%	14%	14%	14%	9%	7%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%
Alimentos - Carne	4%	4%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	0.4%	0.2%	0%	-	-	-
Alimentos - Cerveja	5%	2%	2%	2%	2%	0.1%	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos - Laticínios	4%	1%	0.2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alimentos - Outros	27%	21%	17%	15%	13%	10%	7%	6%	4%	3%	2%	2%	1%	1%
Alumínio - Primário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio - Processado	5%	2%	2%	2%	2%	1%	0.5%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	-	-	-
Cimento	11%	6%	3%	2%	2%	1%	1%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Cloro	49%	39%	39%	39%	35%	35%	35%	-	-	-	-	-	-	-
<i>Datacenter</i>	4%	4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel	32%	15%	13%	13%	12%	10%	7%	7%	3%	3%	3%	2%	2%	2%
Saneamento	6%	6%	6%	6%	5%	5%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	0.3%	0.3%

Tabela 39 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 25% da demanda média diária no ano.

Setor \ Dias	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Aço	16%	16%	14%	14%	14%	9%	7%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%
Alimentos - Carne	4%	4%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	0.4%	0.2%	0%	-	-	-
Alimentos - Cerveja	5%	2%	2%	2%	2%	0.1%	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos - Laticínios	4%	1%	0.2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alimentos - Outros	27%	21%	17%	15%	13%	10%	7%	6%	4%	3%	2%	2%	1%	1%
Alumínio - Primário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio - Processado	5%	2%	2%	2%	2%	1%	0.5%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	-	-	-
Cimento	11%	6%	3%	2%	2%	1%	1%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Cloro	49%	39%	39%	39%	35%	35%	35%	-	-	-	-	-	-	-
Datacenter	4%	4%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papel	32%	15%	13%	13%	12%	10%	7%	7%	3%	3%	3%	2%	2%	2%
Saneamento	6%	6%	6%	6%	5%	5%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	0.3%	0.3%

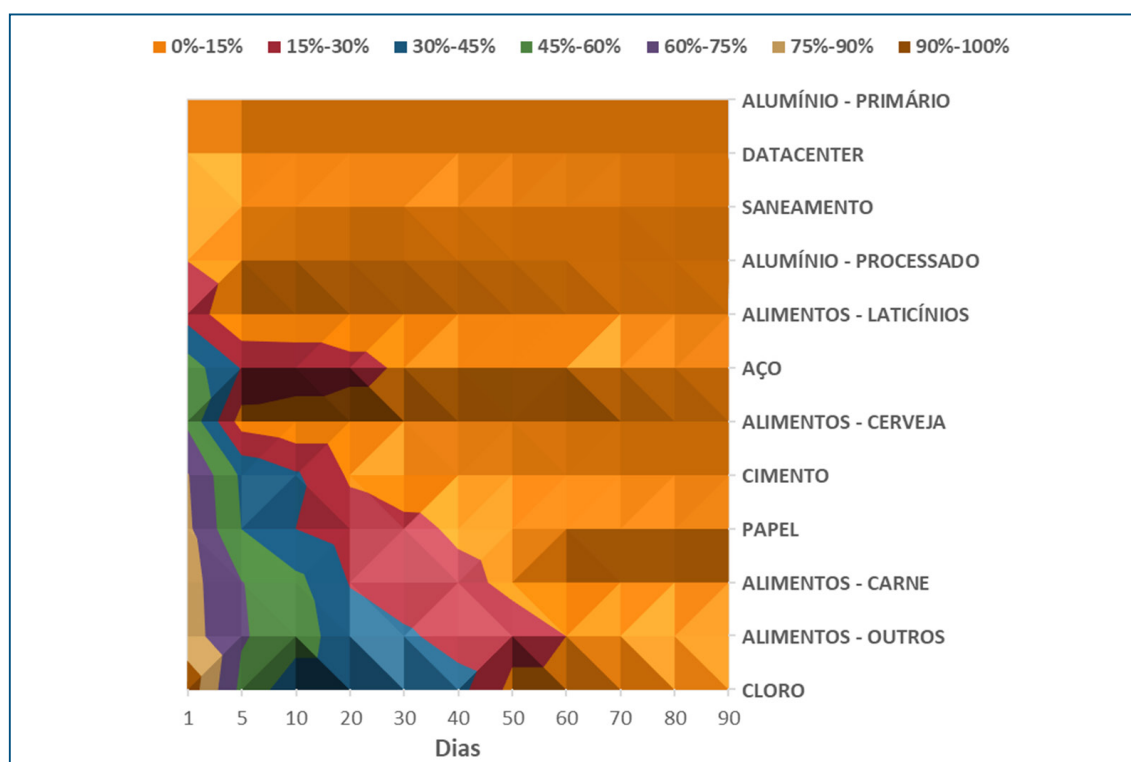


Figura 16 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 25% da demanda média diária no ano.

Tabela 40 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 50% da demanda média diária no ano.

Setor \ Dias	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Aço	70%	67%	54%	54%	54%	53%	42%	31%	28%	18%	16%	11%	8%	5%
Alimentos - Carne	98%	98%	97%	97%	96%	94%	92%	88%	79%	73%	55%	32%	27%	19%
Alimentos - Cerveja	99%	82%	73%	67%	61%	35%	21%	17%	13%	8%	8%	5%	5%	5%
Alimentos - Laticínios	55%	49%	46%	41%	38%	26%	10%	10%	8%	4%	3%	3%	3%	1%
Alimentos - Outros	96%	93%	91%	89%	87%	81%	72%	64%	58%	53%	45%	32%	26%	19%
Alumínio - Primário	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio - Processado	96%	70%	70%	48%	46%	26%	8%	7%	6%	6%	5%	4%	2%	1%
Cimento	92%	87%	82%	81%	81%	63%	49%	36%	19%	13%	6%	6%	4%	4%
Cloro	100%	100%	100%	100%	100%	61%	51%	35%	35%	35%	11%	11%	11%	11%
Datacenter	12%	4%	4%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	-	-	-	-
Papel	91%	83%	80%	73%	67%	53%	34%	28%	25%	19%	15%	12%	12%	9%
Saneamento	29%	12%	10%	10%	9%	7%	7%	6%	6%	6%	4%	4%	3%	2%

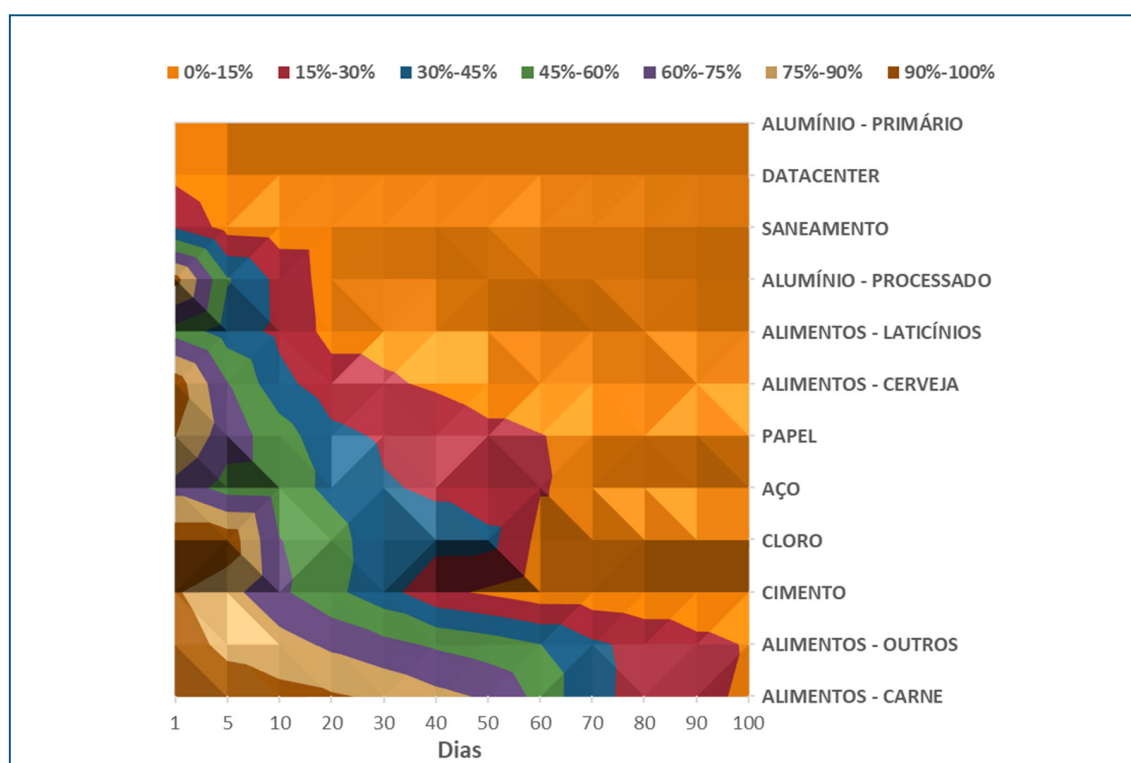


Figura 17 – Porcentagem da demanda de cada setor que fica dado número de dias (ou mais) com demanda inferior a 50% da demanda média diária no ano.

Anexo B – Análise dos segmentos em relação às perguntas de avaliação de aceitabilidade

Tabela 41 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 1.

Segmento (subdivisão)	Os principais equipamentos/ processos consumidores de eletricidade são pouco críticos em relação ao negócio da indústria?	Motivo
Aço-Integrado	2	Principal consumidor de eletricidade são os laminadores, contudo existem outros equipamentos de vital importância para o segmento como os altos-fornos.
Abastecimento de água	1	Os sistemas de bombeamento de água são de vital importância para o negócio das empresas do subsegmento de abastecimento de água.
Alimento-não refrigerados	1	Os motores elétricos responsáveis pelo acionamento de equipamentos cruciais para o processo produtivo (moinhos, extrusoras etc.), além disso são importantes para acionamento de equipamentos de serviços auxiliares
Alumínio-transformação	1	Os motores elétricos responsáveis pelo acionamento de equipamentos cruciais para o processo produtivo, além disso são importantes para acionamento de equipamentos de serviços auxiliares.
Papel	1	A uso da eletricidade por meio da força motriz que aciona os processos da máquina de papel são vitais para o negócio das indústrias de papel.
Cimento	1	Principal consumidor de eletricidade são os moinhos, contudo existem outros equipamentos de vital importância para o segmento como os fornos rotativos.
Alumínio-primário	1	As cubas eletrolíticas que compõe a principal etapa do processo produtivo das indústrias de alumínio primário são cruciais para o negócio da empresa.
Cloro	1	A etapa da eletrólise nas indústrias do cloro demanda grande eletricidade e são fundamentais para o negócio das empresas desse segmento
Alimentos-refrigerados	1	O processo de refrigeração dos alimentos nas indústrias de alimentos e bebidas são cruciais para o negócio da empresa, ainda potencializado pela questão de serem produtos perecíveis
Datacenters	1	Tanto a refrigeração do ambiente quanto as cargas críticas de TI são fundamentais para o negócio da empresa, nesse tipo de segmento no qual confiabilidade dos equipamentos é um indicador extremamente crucial, até se comparado com os outros segmentos sob análise.
Aço-semi-integrado	1	Os fornos elétricos compõem uma das etapas principais desse segmento de produção do aço

Tabela 42 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 2.

Segmento (subdivisão)	A matriz energética da indústria depende majoritariamente de outros energéticos, além da eletricidade?	Motivo
Aço-Integrado	3	Matriz energética depende majoritariamente de energéticos como carvão e gás natural
Abastecimento de água	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas de bombeamento de água, atividade central dos segmentos
Alimento-não refrigerados	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas motrizes, atividade central dos segmentos
Alumínio-transformação	2	Eletricidade é tão relevante quanto o uso do GLP
Papel	1	Nas indústrias somente de papel, sem considerar a produção integrada de celulose a eletricidade seria o principal energético
Cimento	2	Considerando principalmente as plantas integradas onde há a produção de clínquer eletricidade torna-se o segundo energético da matriz desse segmento
Alumínio-primário	1	Uso da eletricidade nas cubas eletrolíticas é a atividade principal do processo produtivo desse segmento
Cloro	1	As indústrias do cloro são eletrointensivas devido ao processo de eletrólise
Alimentos-refrigerados	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas de refrigeração, atividade central dos segmentos
<i>Datacenters</i>	1	Tanto as cargas de TI quanto os sistemas de refrigeração, principais cargas do segmento de datacenters são bastantes dependentes da eletricidade
Aço-semi-integrado	1	Nas indústrias de aço integrada a eletricidade torna-se o principal energético da matriz, para alimentar os fornos a arco e sistemas de laminação

Tabela 43 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 3.

Segmento (subdivisão)	Existe mais de um tipo de uso final relevante que demanda eletricidade?	Motivo
Aço-Integrado	3	Matriz energética depende majoritariamente de energéticos como carvão e gás natural
Abastecimento de água	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas de bombeamento de água, atividade central dos segmentos
Alimento-não refrigerados	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas motrizes, atividade central dos segmentos
Alumínio-transformação	2	Eletricidade é tão relevante quanto o uso do GLP
Papel	1	Nas indústrias somente de papel, sem considerar a produção integrada de celulose a eletricidade seria o principal energético
Cimento	2	Considerando principalmente as plantas integradas onde há a produção de clínquer eletricidade torna-se o segundo energético da matriz desse segmento
Alumínio-primário	1	Uso da eletricidade nas cubas eletrolíticas é a atividade principal do processo produtivo desse segmento
Cloro	1	As indústrias do cloro são eletrointensivas devido ao processo de eletrólise
Alimentos-refrigerados	1	Uso majoritário de eletricidade nos sistemas de refrigeração, atividade central dos segmentos
<i>Datacenters</i>	1	Tanto as cargas de TI quanto os sistemas de refrigeração, principais cargas do segmento de datacenters são bastantes dependentes da eletricidade
Aço-semi-integrado	1	Nas indústrias de aço integrada a eletricidade torna-se o principal energético da matriz, para alimentar os fornos a arco e sistemas de laminação

Tabela 44 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 4.

Segmento (subdivisão)	Existem medidas validadas de RD aplicável a este segmento	Motivo
Aço-Integrado	3	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção, cogeração e alterações na dinâmica do processo produtivo
Abastecimento de água	2	Possui como medidas para prover RD: alterações na dinâmica do setor produtivo
Alimentos-não refrigerados	2	Possui como medidas para prover RD: locação de geradores e alterações na dinâmica do processo produtivo
Alumínio-transformação	2	Possui como medidas para prover RD: locação de geradores e alterações na dinâmica do processo produtivo
Papel	3	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção, cogeração e alterações na dinâmica do processo produtivo
Cimento	3	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção, cogeração e alterações na dinâmica do processo produtivo
Alumínio-primário	2	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção e alterações na dinâmica do processo produtivo
Cloro	2	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção e alterações na dinâmica do processo produtivo
Alimentos-refrigerados	2	Possui como medidas para prover RD: locação de geradores e alterações na dinâmica do processo produtivo
<i>Datacenters</i>	2	Possui como medidas para prover RD: alterações na dinâmica do setor produtivo
Aço-semi-integrado	2	Possui como medidas para prover RD: uso de paradas de manutenção e alterações na dinâmica do processo produtivo

Tabela 45 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 5.

Segmento (subdivisão)	O custo com eletricidade é muito representativo em relação aos custos totais	Motivo
Aço-Integrado	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Abastecimento de água	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Alimento-não refrigerados	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Alumínio-transformação	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Papel	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Cimento	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Alumínio-primário	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Cloro	3	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção maior que 50%
Alimentos-refrigerados	2	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção entre 25% e 50%
<i>Datacenters</i>	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%
Aço-semi-integrado	1	Peso do custo com aquisição de energia elétrica em relação aos custos direto com produção abaixo de 25%

Tabela 46 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 6.

Segmento (subdivisão)	O market share é descentralizado?	Motivo
Aço-Integrado	2	14 players compõe o segmento do aço do País, maior parte das plantas focada na produção de aço integrado
Abastecimento de água	1	Cada empresa de abastecimento de água está focada em suprir uma região específica
Alimento-não refrigerados	3	Setor de alimentos e bebidas é bastante pulverizado grande quantidade de players nos diversos subsegmentos
Alumínio-transformação	2	Diversas plantas espalhadas pelas diversas regiões do país
Papel	2	Grande parte da produção focado nos principais grupos econômicos, porém há diversos players no mercado
Cimento	3	Diversos grupos com quantidade de plantas variando entre algumas unidades e dezenas de unidades situadas em diversas regiões do país
Alumínio-primário	1	Apenas 2 plantas operando no país
Cloro	1	Apenas 6 players são responsáveis pela produção majoritária de cloro do país
Alimentos-refrigerados	3	Setor de alimentos e bebidas é bastante pulverizado grande quantidade de players nos diversos subsegmentos
<i>Datacenters</i>	2	Diversos players são citados como relevantes no país, porém é um setor em desenvolvimento
Aço-semi-integrado	1	14 players compõe o segmento do aço do País, maior parte das plantas focada na produção de aço integrado

Tabela 47 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 7.

Segmento (subdivisão)	A produção é distribuída regionalmente?	Motivo
Aço-Integrado	1	Produção pouco distribuída, focada na região sudeste
Abastecimento de água	1	Pouco distribuída cada empresa de abastecimento de água está foca em suprir uma região específica
Alimentos-não refrigerados	3	A indústria de alimentos e bebidas é bastante diversa e cada região do país pode ser relevante em determinado subsegmento desse setor
Alumínio-transformação	3	Produção de diversos tipos de transformados em diversos estados do país
Papel	3	Produção de diversos tipos de papeis em diversos estados do país
Cimento	3	Produção em diversos estados do país
Alumínio-primário	1	Produção focada somente em regiões 2 plantas industriais
Cloro	2	Concentração no Nordeste e sudeste
Alimentos-refrigerados	3	A indústria de alimentos e bebidas é bastante diversa e cada região do país pode ser relevante em determinado subsegmento desse setor
Datacenters	1	Plantas focadas principalmente na região sudeste
Aço-semi-integrado	1	Produção pouco distribuída, focada na região sudeste

Tabela 48 – Análise dos segmentos industriais em relação à pergunta 8.

Segmento (subdivisão)	A demanda por esse produto/serviço é pouco crítica para um determinado setor/população?	Motivo
Aço-Integrado	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Abastecimento de água	1	Serviço básico para população, dependência do produto é bastante crítica
Alimento-não refrigerados	2	Considerou-se o segmento de alimentos e bebidas moderadamente críticos para o setor e a população, pois trata-se de um bem básico para as pessoas e envolve a questão de os alimentos serem perecíveis
Alumínio-transformação	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Papel	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Cimento	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Alumínio-primário	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Cloro	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população
Alimentos-refrigerados	2	Considerou-se o segmento de alimentos e bebidas moderadamente críticos para o setor e a população, pois trata-se de um bem básico para as pessoas e envolve a questão de os alimentos serem perecíveis
Datacenters	1	Serviço crítico para os clientes que dependem dos dados armazenados, há um apelo grande por confiabilidade neste segmento
Aço-semi-integrado	3	De modo geral considerou-se as commodities não alimentícias e não associadas ao serviço básico como pouco críticas para determinado setor ou população

Anexo C – Cálculos associados aos custos de acionamento e sobre acionamento do gerador a diesel

Cálculo de custos com eletricidade associados a unidade consumidora industrial

Nas tabelas: Tabela 49, Tabela 50, Tabela 51 e Tabela 52 apresenta-se as premissas e equações para o cálculo do custo com eletricidade da carga industrial:

Tabela 49 – Premissas para o cálculo do custo com eletricidade da carga industrial.

Descrição	Valor/Variável
Distribuidora	Cemig D
Grupo Tensão	A
Subgrupo tensão	A4
Modalidade Tarifária	Verde
Ambiente de Contratação	Livre
Tipo de Energia	Incentivada especial 50%
Preço Energia Incentivada especial 50% (R\$/MWh)	144,1 ⁴²⁶
Volume Anual de Energia (MW _{méd})	1
Participação do consumo na ponta	10%
Fator de Carga	40%
PIS/PASEP/COFINS	5%
ICMS	18%

Tabela 50 – Tarifas da Distribuidora²⁷.

Subgrupo	Modalidade	Tipo	Tarifa
A4	VERDE	TUSD P (R\$/kW)	R\$ 0,00
A4	VERDE	TUSD FP (R\$/kW)	R\$ 37,53
A4	VERDE	TUSD P (R\$/MWh)	R\$ 2.462,97
A4	VERDE	TUSD FP (R\$/MWh)	R\$ 80,10
A4	VERDE	TE P (R\$/MWh)	R\$ 415,55
A4	VERDE	TE FP (R\$/MWh)	R\$ 256,95

Tabela 51 – Metodologia de cálculo de aplicação de impostos e desconto de energia incentivada especial nas tarifas da distribuidora e preço da energia.

Tarifa	Equação
Tarifas Distribuidora com impostos	$\text{Tarifas Distribuidora com impostos} = \left(\frac{\text{Tarifa distribuidora}}{1 - \text{PIS COFINS PASEP-ICMS}} \right)$ (2)
Tarifas com desconto de energia incentivada	$\text{TUSD FP com desconto de energia incentivada} = \text{TUSD FP (R\$/kW)} * 50\%$ (3) $\text{TUSD P (R\$/MWh) com desconto de energia incentivada} = \text{TUSD P (R\$/MWh)} - \text{TUSD FP (R\$/MWh)} * 50\%$ (4)
Preço da Energia com impostos	$\text{Preço da Energia com impostos} = \left(\frac{\text{Preço energia}}{1 - \text{ICMS}} \right)$ (5)

27 <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20223056ti.pdf>.

Tabela 52 – Metodologia de cálculo da demanda e consumo de energia elétrica.

Variável	Equação	Valores
Demanda Anual Ponta (kW)	$\text{Demanda Anual Ponta} = \left(\frac{\left(\frac{\text{Consumo Anual Fora Ponta}}{8.760 \text{ horas}} \right)}{\text{Fator de Carga}} \right) * 1000$ (6)	2.896,83
Demanda Anual Fora Ponta (kW)	$\text{Demanda Anual Fora Ponta} = \left(\frac{\left(\frac{\text{Consumo Anual Fora Ponta}}{(8.760 \text{ horas} - 3 \text{ horas} * 21 \text{ dias} * 12 \text{ meses})} \right)}{\text{Fator de Carga}} \right) * 1000$ (7)	2.462,52
Consumo Anual Ponta (MWh)	$\text{Consumo Anual Ponta} = \text{Volume Anual de Energia} * 8760 \text{ horas} * \text{Participação do consumo na ponta}$ (8)	876,00
Consumo Anual Fora Ponta (MWh)	$\text{Consumo Anual Fora Ponta} = \text{Volume Anual de Energia} * 8760 \text{ horas} * (1 - \text{Participação do consumo na ponta})$ (9)	7.884,00

Os valores de tarifas apresentados na Tabela 50 recebem a incidência dos impostos e descontos conforme equações apresentadas na Tabela 51, cujo resultados são apresentados na Tabela 53.

Tabela 53 – Valores com impostos das tarifas da distribuidora e preço da energia no ACL.

Tarifas/Preço Energia	Valores com impostos
TUSD FP (R\$/kW)	R\$ 48,74
TUSD P (R\$/MWh)	R\$ 3.198,66
TUSD FP (R\$/MWh)	R\$ 104,03
TE P (R\$/MWh)	R\$ 539,68
TE FP (R\$/MWh)	R\$ 333,70
Energia ACL (R\$/MWh)	R\$ 213,44

O custo associado a cada tarifa e com a compra de energia no ACL é calculado pelo produto das tarifas com impostos e descontos com os valores de consumo e demanda calculado pelas equações disponíveis na Tabela 52, cujos valores são apresentados na Tabela 54.

Tabela 54 – Custo associado a cada tarifa e preço e da energia.

Custos	Valores
Custo TUSD FP (R\$/kW) (R\$)	R\$ 60.012
Custo TUSD P (R\$/MWh) (R\$)	R\$ 1.355.451
Custo TUSD FP (R\$/MWh) (R\$)	R\$ 820.141
Custo Energia ACL (R\$/MWh) (R\$)	R\$ 1.869.726

O somatório do resultado descrito no parágrafo anterior corresponde ao custo total com energia da carga industrial. O somatório dos custos correspondentes as tarifas pontas equivalem ao custo total na ponta e o somatório dos custos correspondentes fora ponta equivalem ao custo total fora ponta. Ao dividir os custos totais pelo volume de energia obtém-se o custo unitário, os resultados são apresentados na Tabela 55.

Tabela 55 – Resultados dos custos totais e custos unitários associados a carga industrial genérica.

Custo	Valor	Volume Energia (MWh)	Custo Unitário (R\$/MWh)
Custo Total (R\$)	R\$ 4.105.329	8.760,00	R\$ 468,64
Custo P (R\$)	R\$ 1.542.423	876,00	R\$ 1.760,76
Custo FP (R\$)	R\$ 2.562.906	7.884,00	R\$ 325,08

Cálculo de custos com locação do gerador

Para calcular o Custo de locação ($Custo_{locação}$) tomou-se o custo de aluguel de um gerador de 500 kW e assumiu-se, como melhor hipótese possível, uma relação linear do custo de aluguel com o tamanho da unidade geradora, de modo a obter um valor em R\$/kW. O memorial de cálculo do Custo locação é apresentado na Tabela 56.

Tabela 56 – Cálculo custo de locação do gerador.

Custo	Equação	Valores
Custo _{Aluguel} (500 kW) (R\$/dia)		366,66 R\$/dia ²⁸
Custo _{locação} (R\$/kW-dia)	$Custo_{locação} = \frac{Custo\ Aluguel\ (500\ kW)\ (R\$/dia)}{500\ (kW)}$ (10)	0.73 R\$/kW-dia

Cálculo de custos com aquisição do gerador

Para calcular o Custo com a compra ($Custo_{compra}$) busca-se identificar a relação entre parcelas iguais de dívida assumida com a compra do gerador e a do equipamento.

Optou-se pela metodologia de financiamento Price para calcular as parcelas associadas a aquisição do gerador. Na Tabela 57 apresentam-se as premissas utilizadas no cálculo da tabela Price.

Tabela 57 – Premissas utilizadas no cálculo da tabela Price.

CAPEX (R\$/MW)	R\$ 1.000.000,00 ²⁹
Nº Parcelas	5 ³⁰
Taxa a.a.	16,75% ³¹

²⁸ <https://degraus.com.br/quanto-custa-um-gerador-de-energia-veja-como-economizar/>

²⁹ Valor conforme Tabela 22.

³⁰ Assumiu-se que o financiamento para aquisição do equipamento novo seria pago em 5 anos, após o fim desse período o custo de acionamento do gerador é equivalente ao custo do gerador existente.

³¹ Assumiu-se taxa de desconto igual a taxa Selic + 3%.

Na Tabela 58 apresenta-se as equações empregadas para o cálculo do valor das parcelas e custo anual com o gerador, $\text{Custo}_{\text{compra}}$.

Tabela 58 – Equações para o cálculo do valor das parcelas e custo anual com o gerador, $\text{Custo}_{\text{compra}}$

Variável	Equação
Valor presente	(11)
Parcela	(12)
Juros	(13)
Amortização	(14)
Saldo devedor	Para o período 0: (15) Para demais períodos: (16)
Custo compra	(R\$/kW) (17)

A Tabela 59 expõe o resultado dos cálculos apresentados na Tabela 58, o qual indica que o $\text{Custo}_{\text{compra}}$ é igual a 310,77 R\$/kW.

Tabela 59 – Resultados tabela Price e custo anual de aquisição do gerador novo.

Nº da Parcela	Juros (R\$)	Amortização (R\$)	Parcela (R\$)	Saldo Devedor (R\$)	Custo anual (R\$/MWh)
0				R\$ 1.000.000,00	R\$ 0,00
1	R\$ 167.500,00	R\$ 143.269,62	R\$ 310.770	R\$ 856.730,38	R\$ 597,63
2	R\$ 143.502,34	R\$ 167.267,28	R\$ 310.770	R\$ 689.463,10	R\$ 597,63
3	R\$ 115.485,07	R\$ 195.284,55	R\$ 310.770	R\$ 494.178,54	R\$ 597,63
4	R\$ 82.774,91	R\$ 227.994,71	R\$ 310.770	R\$ 266.183,83	R\$ 597,63
5	R\$ 44.585,79	R\$ 266.183,83	R\$ 310.770	R\$ 0,00	R\$ 597,63

Anexo D – Sensibilidades

Este anexo traz sensibilidades quanto a dois parâmetros: o número de acionamentos esperados dos produtos ponta e média; e a porcentagem dos custos com insumos, energia, e serviços industriais que constituem custos evitáveis (isto é, custos que deixam de ser incorridos quando o agente industrial diminui sua produção para ofertar RD). Havíamos assumido 6.5 e 42 acionamentos esperados por ano para o produto média e ponta, respectivamente, e 50% para a porcentagem de custos evitáveis.

Dado o nível de incerteza dessas duas premissas, os valores acima foram escolhidos de modo conservador, mas mantendo a factibilidade, de acordo às expectativas dos pesquisadores. Cabe, no entanto, perguntar-nos o que ocorreria se optássemos por valores mais ou menos agressivos. Neste intuito, as sensibilidades deste Anexo são duas:

- **Sensibilidade conservadora:** assumimos os valores mais conservadores possíveis para os dois parâmetros, a saber: 8 e 48 acionamentos esperados por ano para o produto média e ponta, respectivamente, e 0% de custos evitáveis.
- **Sensibilidade otimista:** assumimos valores bastante otimistas para os dois parâmetros, a saber: 4 e 24 acionamentos esperados por ano³² para o produto média e ponta, respectivamente, e 100% de custos evitáveis.

Não consideramos essas premissas realistas (por exemplo, a porcentagem de custos evitáveis certamente não é nem 0%, nem 100%, mas algum valor entre os dois). O objetivo aqui é somente analisar dois casos extremos, que dão um limite inferior e um superior para as quantidades de RD que podem ser obtidas a partir da metodologia adotada neste estudo.

³² Esses valores correspondem a metade dos números máximos de acionamento de cada produto (8 e 48). Há dois motivos para não considerarmos valores menores desses parâmetros: (i) a aversão ao risco dos agentes industriais, que implica que ao decidir ofertar RD ou não, considerarão cenários com maior número de acionamentos (em que têm maiores custos) – isto é, um número baixo de acionamentos não é representativo dos parâmetros considerados nas decisões dos agentes; (ii) um número muito baixo de acionamentos esperados, em relação ao número máximo de acionamentos do produto, pode significar que o regulador desenhou mal o produto. Por exemplo, no caso mais extremo, se fossem esperados 0 acionamentos do produto ponta, haveria uma oferta bastante alta de RD, mas os agentes industriais receberiam um pagamento fixo, pelo produto de RD ofertado, sem nunca serem acionados.

Sensibilidade conservadora

Os resultados para a sensibilidade conservadora, sem considerar a possibilidade de uso da geração própria, são mostrados na Os resultados para a sensibilidade conservadora, sem considerar a possibilidade de uso da geração própria, são mostrados na Tabela 60.

Tabela 60 – Quantidades ofertadas: sensibilidade conservadora (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto ponta		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	93.1
Alumínio - primário	Redução/deslocamento <i>com</i> perda de produção	193.5
Alumínio - processado	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	5.3
Cimento	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	26.8
Papel	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	81.0
Total		399.6

Produto média		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	149.7
Alumínio - processado	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	6.4
Cimento	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	66.0
Cloro	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	36.2
Papel	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	119.1
Total		377.4

Como se vê, os valores são essencialmente os mesmos da Tabela 34. A única alteração é uma redução da oferta do produto média em 4.4 MW, correspondente ao setor de saneamento. Isto é, no setor de saneamento, a viabilidade econômica de ofertar o produto média deixa de existir com as novas premissas. Para o produto ponta, a oferta é idêntica à da Tabela 34.

Quando se permite o uso de geração própria, os resultados estão na Tabela 61. A oferta do produto ponta cai para 942.6 MW, em relação aos 1104.2 MW mostrados na Tabela 35, uma queda de 161.6 MW. Devido ao aumento do número de acionamentos esperado, o custo da rota de geração própria aumenta, eliminando a viabilidade econômica das ofertas de RD via esta rota nos setores de alimentos (carne, laticínios e outros). Os setores de cimento, papel e saneamento também diminuem sua disponibilidade em ofertar produto ponta por geração própria.

Tabela 61 – Quantidades ofertadas: sensibilidade conservadora (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto ponta		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	93.2
	Geração própria existente – >10 MVA	266.1
	Redução/deslocamento sem perda de produção	93.1
Alumínio - primário	Redução/deslocamento com perda de produção	193.5
Alumínio - processado	Redução/deslocamento sem perda de produção	5.3
Cimento	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	87.3
	Geração própria existente – >10 MVA	37.7
	Redução/deslocamento sem perda de produção	26.8
Papel	Geração própria existente – >10 MVA	54.0
	Redução/deslocamento sem perda de produção	81.0
Saneamento	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	4.8
Total		942.6

No caso do produto média, os resultados permitindo geração própria são idênticos aos sem permitir geração própria, que estão indicados na Os resultados para a sensibilidade conservadora, sem considerar a possibilidade de uso da geração própria, são mostrados na Tabela 60.

Concluimos que o uso de parâmetros mais conservadores em relação aos considerados no corpo principal deste Caderno não alteraria significativamente os resultados obtidos.

Sensibilidade otimista

A Tabela 62 mostra a oferta de produto ponta e produto média, por setor e rota, resultantes da sensibilidade otimista – sem considerar a geração própria. Nesse cenário, os custos de provisão de RD são reduzidos, o que gera ofertas de mais setores e rotas, em relação ao mostrado na Tabela 34. Esses novos setores e rotas são destacados em tons mais escuros na Tabela 62.

Tabela 62 – Quantidades ofertadas: sensibilidade otimista (sem considerar a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto média			Produto média		
Setor	Rota	Oferta (MW)	Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Redução/deslocamento sem perda de produção	93.1	Aço	Redução/deslocamento sem perda de produção	149.7
Alumínio - primário	Redução/deslocamento com perda de produção	193.5	Alumínio - processado	Redução/deslocamento sem perda de produção	6.4
Alumínio - processado	Redução/deslocamento sem perda de produção	5.3	Cimento	Redução/deslocamento sem perda de produção	66.0
Cimento	Redução/deslocamento sem perda de produção	26.8	Cloro	Redução/deslocamento sem perda de produção	36.2
Papel	Redução/deslocamento sem perda de produção	81.0	Papel	Redução/deslocamento sem perda de produção	119.1
Cimento	Redução/deslocamento com perda de produção	313.9	Saneamento	Redução/deslocamento sem perda de produção	4.4
Cloro	Redução/deslocamento sem perda de produção	36.2	Alumínio - primário	Redução/deslocamento com perda de produção	193.5
Saneamento	Redução/deslocamento sem perda de produção	3.5	Alimentos - cerveja	Redução/deslocamento sem perda de produção	7.5
Total		753.2	Total		582.7

Em relação ao caso base, a oferta de produto ponta aumenta de 399.6 MW para 753.2 MW, o que se deve principalmente à nova oferta de 313.9 MW no setor de cimento. No caso do produto média, a oferta aumentou de 381.8 MW para 582.7 MW, explicado em boa parte pela nova oferta do setor de alumínio primário, de 193.5 MW.

Tanto a nova oferta do setor de cimento para o produto ponta como a nova oferta de alumínio para o produto média se dão através da rota de redução/deslocamento *com* perda de produção. Assim, elas são explicadas principalmente pela premissa de custos evitáveis: se 100% dos custos de insumo, energia e serviços industriais dos setores de cimento e alumínio primário fossem “evitáveis” (uma premissa bastante otimista, como já explicado), então os custos de prover os produtos ponta e média, respectivamente, seriam baixos o suficiente para garantir a viabilidade econômica dessa opção.

No caso em que se permite a geração própria, os resultados para a sensibilidade são mostrados na Tabela 63. Novamente, as diferenças (novas ofertas) são destacadas em tons mais escuros.

Tabela 63 – Quantidades ofertadas: sensibilidade otimista (considerando a possibilidade do uso da rota de geração própria).

Produto ponta		
Setor	Rota	Oferta (MW)
Aço	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	0.6
	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	2.8
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	93.2
	Geração própria existente – >10 MVA	266.1
	Geração própria nova – > 10 MVA	311.7
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	93.1
Alimentos - carne	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	2.3
	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	7.2
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	2.1
Alimentos - laticínios	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	0.9
	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	1.2
Alimentos - outros	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	20.3
	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	21.5
	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	18.8
Alumínio - primário	Redução/deslocamento <i>com</i> perda de produção	193.5
Alumínio - processado	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	1.6
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	5.3
Cimento	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	11
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	174.5
	Geração própria existente – >10 MVA	37.7
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	26.8
	Redução/deslocamento <i>com</i> perda de produção	90.7
Cloro	Geração própria nova – > 10 MVA	102.2
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	36.2
Datacenters	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	16.4
Papel	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	2.3
	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	8.1
	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	5
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	5.6
	Geração própria existente – >10 MVA	54
	Geração própria nova – > 10 MVA	331.9
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	81
Saneamento	Geração própria existente – 0.1-0.25 MVA	4.4
	Geração própria existente – 0.25-0.5 MVA	4.3
	Geração própria existente – 0.5-0.75 MVA	30.5
	Geração própria existente – 0.75-10 MVA	4.8
	Redução/deslocamento <i>sem</i> perda de produção	3.5
Total		2,073.0

O caso do produto ponta com geração própria na sensibilidade otimista é o que leva a maiores diferenças em relação às premissas base utilizadas: a oferta do produto salta de 1104.2 MW (Tabela 35) para 2073 MW. Esse salto se dá pois os ofertantes de RD têm expectativas de gerar somente durante 24 dias ao ano (ao invés dos 42 dias considerados como premissa base), o que reduz significativamente os custos operativos e de combustível associados à oferta de RD. Assim, os ofertantes requerem um preço menor para ofertar o produto ponta do que o considerado nas premissas base. Na Tabela 63, isso se reflete em um número maior de ofertas na rota de geração própria. Inclusive, se viabilizariam investimentos em nova capacidade de geração própria nos setores de aço, cloro e papel. Vale, novamente, a ressalva de que a premissa de 24 dias de acionamento ao ano é bastante otimista.

No caso do produto média, os resultados permitindo geração própria são idênticos aos sem permitir geração própria, que estão indicados na Tabela 62.

Esta sensibilidade indica que uma direção de interesse para trabalhos futuros é refinar o parâmetro de custos evitáveis dos setores de cimento e alumínio primário, bem como a consideração de produtos de RD com menor número máximo de acionamentos.

