

## **Análise do Investimento Industrial em Energia Solar Fotovoltaica e Armazenamento de Energia – Estudo de caso da Bruning Tecnometal**

**Luydi Kunzler Botezeli\***, **Renata de Noronha Goehring\*\***, **Luciane Neves Canha\*\*\***, **Diego Tolotti de Almeida\*\*\*\***.

\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, Brasil; (e-mail: luydibotezeli@gmail.com)

\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS; (e-mail: reeh\_goehring@hotmail.com)

\*\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS; (e-mail: lucianecanha@ufsm.br)

\*\*\*\*Bruning Tecnometal, Panambi/RS; (e-mail: Diegot@bruning.com.br)

---

**Abstract:** The studies related to alternative energy management with renewable sources of energy generation and storage are becoming increasingly a necessary and urgent agenda to face the exponential increase in energy consumption in the world according to environmental and sustainable requirements for the sector. With the proper management of the insertion of distributed energy resources in industrial consumers, several positive points arise regarding quality and reliability not only for the industrial consumer, but also for the distribution system and the environment. In this sense, this study evaluates in different scenarios the implementation of a photovoltaic solar energy generation and energy storage system in a metallurgical industry (Bruning Tecnometal), aiming at reducing electric energy expenses and seeking opportunities with behind-the-meter energy management. First, the current scenario of distributed energy resources is presented and the current scenario of energy contracting environments is analyzed. Then, the business models for energy self-production and energy storage are placed followed by the Bruning Tecnometal case study based on the company's energy reality.

**Resumo:** Os estudos relacionados às alternativas de gestão energética com fontes renováveis de geração e armazenamento de energia vêm se tornando cada vez mais uma pauta necessária e urgente para enfrentar o aumento exponencial do consumo de energia no mundo de acordo com as exigências ambientais e sustentáveis para o setor. Com o gerenciamento adequado da inserção dos recursos energéticos distribuídos nos consumidores industriais surgem vários pontos positivos em relação à qualidade e à confiabilidade não somente para o consumidor industrial, mas também para o sistema de distribuição e para o meio ambiente. Nesse sentido, este estudo avalia em diferentes cenários a implementação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica e de armazenamento de energia em uma indústria metalúrgica (*Bruning Tecnometal*), visando a redução de despesas com energia elétrica e buscando oportunidades com a gestão da energia atrás do medidor. Primeiramente, apresenta-se o cenário atual dos recursos energéticos distribuídos e analisa-se o cenário atual dos ambientes de contratação de energia. Em seguida, são colocados os modelos de negócios para autoprodução de energia e armazenamento de energia seguidos do estudo de caso da *Bruning Tecnometal* baseado na realidade energética da empresa.

**Keywords:** Industry, *Photovoltaic Generation*, *Energy Storage*, *Arbitrage*, *Behind-the-meter*, *Energy management*

**Palavras-chaves:** *Energia Elétrica*; *Geração Fotovoltaica*; *Armazenamento de Energia*; *Arbitragem*, *Gerenciamento de energia atrás do medidor*

---

### 1. INTRODUÇÃO

Com uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, o Brasil vem avançando no desenvolvimento de energias alternativas. Além das fontes hidrelétricas, estáveis em crescimento, porém ainda responsáveis pela maior parte da energia gerada no país, as fontes renováveis vêm crescendo rapidamente. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [1], no ano de 2019, as fontes renováveis já correspondiam a 20% da potência total instalada.

A introdução das energias renováveis foi inicialmente motivada pela preocupação com as alterações climáticas que

estão acontecendo no planeta, ocasionadas pela alta emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa.

Para concretizar a ideia de neutralizar o carbono no setor de energia até 2060, tema tratado no acordo de Paris, estima-se que é necessária uma diminuição drástica do consumo de combustíveis e das emissões poluentes, algo que gira em torno de 74%, e isso só será possível com a ampliação no uso das fontes como as eólicas, solar e biomassa, o que faria com que as energias não renováveis se tornassem de 7 a 15% da matriz energética mundial. As energias renováveis tem um crescimento estimado de 43% entre 2017 e 2022 (dados de

2018) e a estimativa de energia renovável gerada no mundo é de 30% de toda matriz. (Nadeem et al., 2018)

Comparando a estrutura de geração, transmissão, distribuição e consumo atual com o sistema elétrico do futuro, veem-se claras e gigantescas diferenças. O fluxo unidirecional de potência da geração até o consumo já ocorre, de modo que no sistema elétrico moderno, observam-se trocas bidirecionais em vários pontos, como nos comércios e residências com geração e armazenamento próprios, grandes geradores renováveis, como solar e eólica, autoprodução em indústrias e a mobilidade elétrica, que cada vez mais vem se tornando uma realidade.

O avanço da energia solar fotovoltaica no Brasil tem se tornado cada vez mais significativo. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) [2], até o ano de 2016 o país contava com 93 unidades geradoras, o que entregava por volta de 50 MW ao sistema interligado, no momento (outubro de 2021), a capacidade instalada operacional gira em torno de 10,8 GW de potência, com quase 11 mil unidades geradoras, gerando mais de 300 mil novos empregos, ultrapassando a marca de 15 bilhões em arrecadação de tributos e evitando a emissão de mais de 12 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Em relação ao percentual de participação na potência total da matriz elétrica brasileira, a energia solar fotovoltaica já chegou à marca de 2% (3.841MW), e tem uma expectativa, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), de atingir 10% até o ano de 2030.

Segundo uma pesquisa feita pela IEA (*International Energy Agency*) [3], no ano de 2017, a geração fotovoltaica a nível mundial cresceu de 4 TWh no ano de 2005 para 444 TWh no ano de 2017.

As fontes de energias renováveis como a solar fotovoltaica, são fontes intermitentes, ou seja, não possuem previsibilidade, variam significativamente em curtos intervalos de tempo, trazendo alguns pontos que precisam ser otimizados. Uma forma eficiente e disponível no mercado é associar o armazenamento de energia com as fontes renováveis, possibilitando uma melhor gestão energética e uma maior confiabilidade e qualidade da energia, aproveitando ao máximo seu potencial de geração com a diminuição de demanda, suavização dos picos de energia e mitigação da variabilidade proporcionada por este tipo de fonte.

O objetivo desse artigo é apresentar uma análise geral do cenário da aplicação dos recursos distribuídos no setor industrial brasileiro, dando ênfase à geração fotovoltaica e ao armazenamento de energia. O estudo de caso foi realizado em uma indústria gaúcha do setor metal mecânico (*Bruning Tecnometal*), visando identificar potenciais vantagens financeiras, uma melhor gestão energética e o investimento da empresa em práticas sustentáveis.

## 2. AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA

A tarifa de energia elétrica pode ser resumidamente dividida em dois tipos de cobrança, a tarifa fio, que corresponde à transmissão de energia, e a energia propriamente dita. Existem basicamente dois tipos de consumidores de energia, os consumidores cativos, aqueles que compram energia somente

das distribuidoras responsáveis pela região que estão situados, ou seja, pagam somente uma cobrança correspondente a energia e ao seu transporte, e os consumidores livres, que pagam a energia e o transporte de forma separada, ainda são regulados no pagamento da tarifa fio, porém, possuem liberdade de comprar energia diretamente das geradoras e comercializadoras. (Lau, 2018)

Enquanto o ambiente de contratação regulada (ACR) é regulado pela ANEEL, o ambiente de contratação livre (ACL) possui negociações livres entre consumidores, geradores e comercializadores, possibilitando ao consumidor o acesso a uma energia mais barata, previsibilidade nos gastos, ausência de bandeiras tarifárias, possibilidade de venda de energia não usada em um mercado regulamentado e seguro.

No momento, são considerados aptos a ingressar no mercado livre os consumidores com demanda mínima de 500kW, porém, só são considerados consumidores livres aqueles que possuem demanda mínima de 1,5MW. Na faixa de 500kW à 1,5MW estão os consumidores que chamamos de especiais, estes com direito a adquirir sua própria energia da mesma forma, porém somente de fontes incentivadas como por exemplo, eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH).

Para um consumidor participar do ambiente de contratação livre (ACL) deve-se ter um registro na CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), o órgão que controla o mercado livre de energia, dentro da CCEE, tem-se vários agentes como autoprodutores, comercializadores de energia, consumidores especiais, consumidores livres, distribuidores, exportadores, geradores e importadores.

## 3. AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA

Conforme a lei 9.648/1998, atualização do Art. 2º do Decreto 2.003 de 10 de setembro de 1996, o autoprodutor é a pessoa física, jurídica ou empresas reunidas em consórcio que receba concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da ANEEL, comercializar seus excedentes de energia.

Segundo o Art. 8º do decreto 2.003 de 10 de setembro de 1996, o autoprodutor tem livre acesso para conexão de suas unidades de produção e de consumo aos sistemas de transmissão e distribuição, mesmo que estas se localizem em áreas geográficas distintas, de forma a permitir a utilização e comercialização da energia produzida.

Um consumidor já inserido no mercado livre, precisa seguir alguns passos para gerar sua própria energia através da autoprodução. Primeiramente, deve solicitar a ANEEL a autorização para gerar energia, após isso, solicitar acesso à concessionária onde está inserido e registrar-se como autoprodutor na CCEE, o órgão que controla o mercado livre de energia. O autoprodutor, por sua vez, tem a energia produzida como um custo evitado, adquirindo menos ou até nenhuma energia de terceiros. O cálculo de viabilidade da implantação de uma geradora para um consumidor livre ou especial é simples, basta calcular o custo da energia gerada e

comparar ao valor pago pela energia adquirida no mercado livre.

Existe uma variação da relação consumo/geração ao longo do tempo, em alguns momentos o consumo excederá a geração e em outros momentos, vice-versa, e há duas maneiras de trabalhar com essa relação. A primeira é ter uma geração com injeção na rede, nesse caso, quando a geração for maior que o consumo, o excedente será injetado na rede da concessionária, ao fim de todos os meses, a CCEE fará um balanço entre energia injetada e consumida e o resultado líquido deve ser coberto pelos contratos de compra e venda de energia, caso não forem, o restante será liquidado em até 6 dias úteis, pelo valor do preço de liquidação de diferenças (PLD). Quando se escolhe esse tipo de instalação, é necessária a inclusão de alguns equipamentos como religadores, os quais apresentam um custo considerável (Lau, 2018). Vale ressaltar também que a venda de energia pelo autoprodutor é eventual e temporária, ou seja, pode-se comercializar somente os excedentes da relação geração/consumo do prosumidor.

A segunda opção é ter uma geração sem injeção na rede elétrica, sendo necessária a instalação de um relé que inibe a injeção de energia na rede da concessionária, dessa forma, toda energia gerada é consumida no local, tornando o preço da energia mais previsível.

Alguns casos podem não apresentar resultados financeiros tão atraentes como na geração distribuída, porém, existem outros benefícios que a geração própria apresenta ao “prosumidor” como a previsibilidade no custo da energia, tornando-o mais independente das variações de preço. Nesse quesito entram assuntos como uma possível crise hídrica em tempos de seca, obrigando um maior uso das termelétricas, que tornam a energia comercializada mais cara, algo que não afetará o autoprodutor, além da valorização da marca da empresa, por fazer uso de uma energia renovável.

Uma das características do mercado de energia brasileiro é a separação do físico e do comercial, ou seja, um agente pode comprar energia de qualquer agente localizado no Sistema Interligado Nacional (SIN), seja qual for seu “submercado”, porém, quem vende a energia, não tem responsabilidade pela entrega física da mesma, quem faz o despacho das usinas é a ONS (operador nacional do sistema elétrico).

Em evidência nos últimos anos, a autoprodução já havia ganhado força próximo a década de 80 no Brasil com usinas de biomassa através do bagaço da cana. Na década de 90 a autoprodução passou a figurar com o investimento em hidrelétricas, buscando uma fonte mais barata de energia elétrica, porém, com as questões ambientais e o surgimento do mercado livre, os investimentos em autoprodução caíram drasticamente, e somente começou uma retomada no mercado há alguns anos, impulsionada pelos novos modelos de negócio e tecnologias, lideradas pela fonte solar, com soluções eficientes e sustentáveis a longo prazo.

Já existiu uma diferença considerável entre ser autoprodutor e produtor independente, por exemplo, a possibilidade do produtor independente de vender parte ou toda a energia produzida, o que não acontecia com os autoprodutores, hoje a diferença entre eles é mínima, e logo será zero.

Além das vantagens em ser autoprodutor tais como redução de custos, abatimento de encargos, redução de tarifas da rede, existem outras significativas como a garantia de suprimento em empresas que não podem ter problemas de fornecimento, como as metalúrgicas. Importante citar também o apoio às metas de sustentabilidade – *Environmental, Social and Corporate Governance* (ESG), uma vez que atualmente, algumas empresas já colocam como obrigação o investimento em energia renovável, e somente a compra das energias incentivadas não garante o selo de sustentabilidade, pois a energia incentivada não é carimbada, ou seja, o gerador pode estar fornecendo também energias não incentivadas juntamente com as incentivadas, já na autoprodução, se tem uma garantia de que a empresa realmente está investindo em energia limpa e sustentável, agregando valor a marca da empresa.

O passo a passo para solicitar ser um autoprodutor começa com algumas definições simples como decidir se o sistema será com injeção na rede ou não, se a potência instalada é inferior ou superior a 5MW, se for menor, não existe a necessidade de pedido de outorga, caso o contrário, o cliente deverá solicitar outorga através da ANEEL.

Após isso, o acessante emitirá uma consulta de acesso, que consiste em uma ficha contendo a classificação que pretende se encaixar (autoprodutor ou produtor independente), se vai praticar paralelismo, qual será o tipo de aproveitamento energético e a data prevista para conexão (em etapas se necessário), além da apresentação de alguns documentos relacionados à localização do empreendimento.

Com o envio da consulta de acesso através do acessante, a distribuidora estudará o caso e emitirá uma folha de informações sobre custos envolvendo a implantação da usina, adequação de medição e tipo de enquadramento tarifário, pois existem tarifas específicas para autoprodutores e produtores independentes, por exemplo, os autoprodutores serão classificados como Tarifa Hora Sazonal (THS) Verde ou Tarifa Hora Sazonal (THS) azul.

No momento em que o consumidor receber a folha de informações, ele terá o prazo de um ano, mais possível postergação do prazo em 90 dias, para realizar a solicitação de acesso. Neste documento deverão constar informações de endereço do empreendimento, número da unidade consumidora, CPF ou CNPJ, e informações mais técnicas, como projeto de engenharia, obrigatoriamente feito por um profissional da área de engenharia elétrica devidamente inscrito no conselho regional de engenharia inserido. No projeto, constarão dados como a potência instalada, número de arranjos, área total da central geradora, e informações sobre tensão, corrente e operação dos equipamentos.

Após a solicitação de acesso, a distribuidora emitirá um parecer técnico, aprovando ou reprovando a operação da central geradora, caso ocorra a reprovação, constará no parecer as mudanças e ajustes necessários. Em seguida, após toda obra e ligação concluídas, quem fará a contabilização de energia e regulação do mercado será a CCEE.

Na autoprodução, definindo um perfil de geração, o agente (proprietário da usina) pode utilizar a energia gerada em

quantas cargas quiser, sem limite de área de concessão, ou seja, pode-se ter uma usina no nordeste do país e utilizar essa energia no sul em várias cargas.

A venda do excedente é outra opção, por exemplo, em uma usina em que a geração fotovoltaica atende a todas as cargas do autoprodutor com 40% da capacidade de geração sobriariam 60% como excedente, o que pode ser vendido a outros autoprodutores ou consumidores comuns do mercado livre através de um contrato de comercialização de energia em ambiente livre (CCEAL), todos esses contratos são registrados e validados pela câmara de comercialização de energia (CCEE), a distribuidora nada decidirá na comercialização de energia, somente se preocupará como o frete da energia, ou seja, a energia que trafegou pela rede.

No mercado, existem diferentes tipos de modelos de negócios para autoprodutores, desde a forma mais tradicional, até formas indiretas como consórcio e equiparação.

### 3.1 Autoprodução Tradicional

No modelo de autoprodução tradicional, todos os procedimentos são feitos pelo próprio consumidor, desde o investimento de *Capital Expenditure* (CAPEX), passando pelos riscos e outorga, até os contratos de Engenharia, Projeto e Construção (EPC), operação e manutenção (O&M) e financiamento, conforme Fig. 1. Ou seja, ocorre um investimento pesado em geração, atualmente, é o modelo menos adotado pelos investidores. Nesse modelo, o investidor é 100% dono de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), a qual tem uma outorga de uma usina.

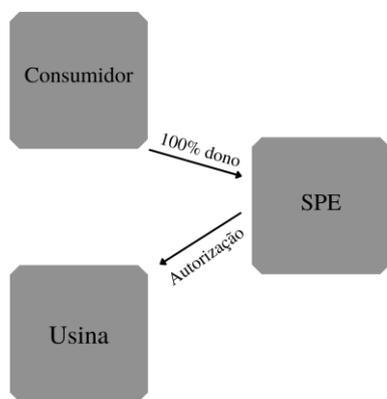


Fig. 1: Esquema de autoprodução tradicional

### 3.2 Autoprodução por Arrendamento

Geralmente o modelo de arrendamento se inicia com a construção de uma usina por parte de um gerador, em seguida, este gerador faz um contrato de arrendamento com o consumidor que por sua vez utiliza deste contrato para conseguir a outorga na ANEEL, tornando-se assim um autoprodutor. Este tipo de investimento é utilizado por consumidores que não possuem o CAPEX, ou seja, não possuem o capital inicial para o investimento, além de conseguir negociar os riscos do investimento.

Estão ocorrendo alguns casos em que os consumidores estão fazendo contratos muito longos com os geradores, e até contratos firmados com a relação R\$ / kWh, o que se torna basicamente um contrato de compra e venda de energia em forma de arrendamento, com o autoprodutor não recolhendo vários encargos, o que pode ser eventualmente questionado pelo regulador. A Fig 2. apresenta esse modelo.

Um ponto muito sensível nessa modelagem é o consumidor estando na posse de uma usina que não é ele que opera, pois provavelmente a O&M será contratada pelo gerador, pelo fato de ser um investimento do próprio, porém, quem irá responder a qualquer problema que acontecer com aquele ativo será o consumidor, pois ele é o agente outorgado.

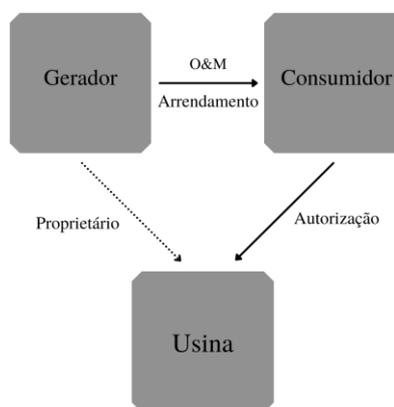


Fig. 2: Esquema de autoprodução por arrendamento

### 3.3 Autoprodução por Consórcio

Na autoprodução por consórcio, Fig. 3, várias empresas colocam o CAPEX necessário em conjunto, construindo um grande empreendimento de geração, e por serem consorciados, usufruem todos do benefício da autoprodução.

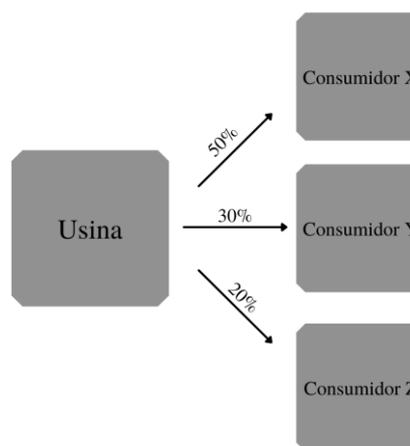


Fig. 03: Esquema de autoprodução por consórcio

Dentro do consórcio irão existir percentuais específicos para cada investidor, por exemplo, a empresa X tem 50% dos direitos da usina, a Y, 30% e a Z, 20%, cada um receberá energia de acordo com sua situação percentual no investimento, a outorga, também é calculada de acordo com o

percentual individual, já os riscos e investimentos são acordados e compartilhados pelos participantes do consórcio.

### 3.4 Autoprodução por Equiparação

A equiparação é o único caso de autoprodução em que existe um *Power Purchase Agreement* (PPA), ou seja, esse tipo de autoprodução funciona através de um contrato de compra e venda de energia entre uma SPE e o consumidor, Fig. 4. Por exemplo, quando um consumidor adquire 40% das ações de uma holding ou de uma SPE que produz 250 MW de energia, consequentemente esse consumidor terá direito de possuir um PPA carimbado como autoprodução na CCEE, é o único caso de autoprodução em que o consumidor irá apresentar o contrato físico de compra e venda de energia na CCEE, além da estrutura societária com o registro de compra das ações, ou seja, o consumidor citado no exemplo tem 40% das ações ordinárias de uma usina de 250 MW, portanto, este consumidor pode registrar um contrato de 100 MW com carimbo de autoprodução.

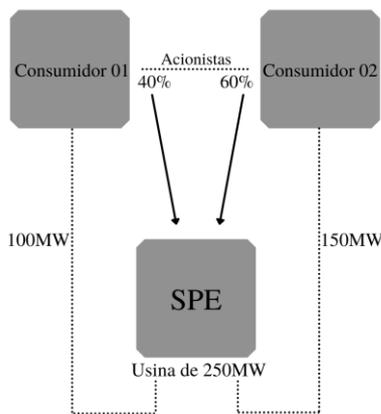


Fig. 4: Esquema de autoprodução por equiparação

Além de toda economia e modelos de negócios citados, a autoprodução também proporciona abatimentos de encargos setoriais como os encargos de serviços do sistema (ESS), programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA) referente a sua produção e encargos com energia reserva. Todas as usinas certificadas após o dia 1º de janeiro de 2016 com fontes incentivadas, receberão descontos nas tarifas de uso do sistema de distribuição e transmissão.

## 4. ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O momento atual para os sistemas de energia é de avanço e crescimento, grande parte dos países têm um consenso de desenvolver a sustentabilidade a partir de ações de ESG. No setor industrial há um espaço ainda não ocupado pelos recursos energéticos distribuídos com o desenvolvimento das gerações renováveis, mobilidade elétrica e o amadurecimento dos mercados de energia, e com esses avanços torna-se necessário desenvolver o armazenamento de energia, que nos traria soluções mais otimizadas ao sistema de energia, principalmente quando agregada à geração distribuída. (Nadeem et al., 2018).

Segundo a IEA, como citado em Nadeem et al., na terceira década do século XXI, as energias renováveis serão adicionadas em quantidades maiores do que qualquer outro combustível fóssil. Esse dado, associado com a intermitência de muitos dos recursos energéticos renováveis, reforça a necessidade das tecnologias de armazenamento de energia que possibilitam maior flexibilidade ao mesmo tempo em que exigem estudos do perfil de uso da energia.

O armazenamento distribuído vem cada vez mais se tornando viável aos investidores, à medida que as tecnologias amadurecem e se tornam mais acessíveis. A aplicação desse tipo de tecnologia é a que mais oferece oportunidades ao sistema elétrico como a regulação de frequência, regulação de tensão e *black start*, além de possíveis melhorias econômicas e de qualidade ao cliente como a redução de carga na ponta, redução de picos de demanda e energia de *backup*. Na Fig. 5 são apresentados diversos tipos de aplicações dessa tecnologia.

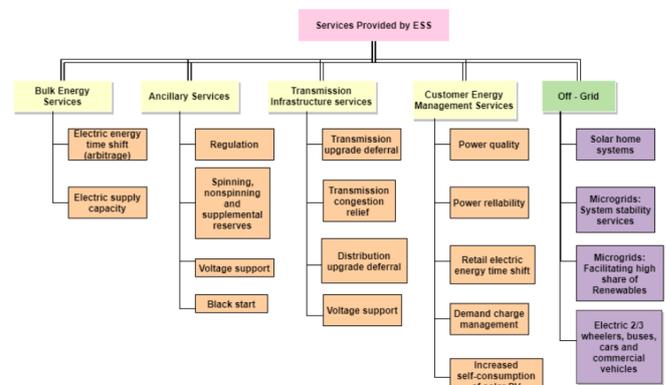


Fig 5: Diferentes serviços baseados em armazenamento de energia (Nadeem et al., 2018).

Neste cenário, a tecnologia de Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) viabiliza a capacidade de agregar à energia elétrica mais disponibilidade, qualidade e confiabilidade. Nos parques geradores intermitentes, como os parques solares ou eólicos, conectados à rede ou isolados, os SAEs podem assegurar um suprimento contínuo de potência até mesmo durante os períodos de baixa produção ou de indisponibilidade da fonte primária. O armazenamento de energia age como *“buffer”*, tornando a rede elétrica mais flexível para acomodar mais geração renovável (Bueno et al., 2017).

Em relação aos custos, no cenário tecnológico atual, as baterias correspondem a 50% do custo de um sistema de armazenamento, já os inversores/conversores significam 29% do investimento, 13% ficam a cargo do serviço de engenharia (projeto) e instalação e as demais despesas por volta de 8%. Vale ressaltar também que a carga tributária sobre baterias e inversores pode chegar a até 80% no Brasil, tornando essa tecnologia cara e muitas vezes inviável (Greener et al., 2021).

Além do *backup* de energia, ainda muito utilizado pela indústria através de geradores a diesel, destacam-se outras duas funcionalidades *“behind the meter”* para os consumidores: arbitragem tarifária e a redução de picos de demanda, o que possibilita ao consumidor reduzir a sua demanda contratada.

#### 4.1 Arbitragem de Energia

A arbitragem de energia, Fig. 6, consiste em uma gestão do horário de consumo, como citado no início deste artigo, existem horários tarifários diferentes para consumidores de tarifa branca, verde ou azul (ponta e fora ponta). O método consiste no carregamento dos bancos de baterias nos momentos em que a tarifa está mais barata (fora ponta), e o uso da energia armazenada nos momentos de energia mais onerosa (ponta).

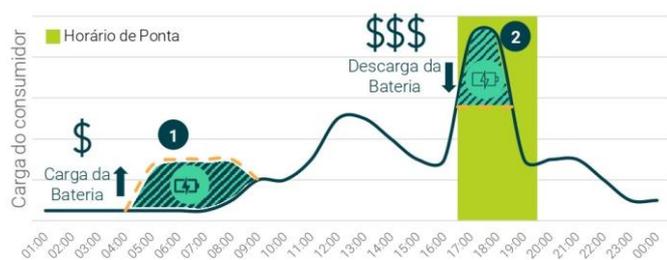


Fig. 6: Exemplo ilustrativo de aplicação de arbitragem de energia (Greener et al., 2021).

#### 4.2 Redução de Picos de Demanda

Um sistema de armazenamento elétrico (SAE) pode trazer também uma economia significativa a consumidores com curtos intervalos de picos de energia, uma vez que estes curtos intervalos podem ser atendidos pelos armazenadores, permitindo assim que o consumidor consiga diminuir a sua demanda contratada, e conseqüentemente, gerando uma economia.

Para consumidores com picos duradouros de carga, ou com demanda média próxima a contratada, essa modalidade não se mostra atrativa.

A Fig 7 demonstra como esse sistema pode gerar uma diminuição de demanda para um consumidor.

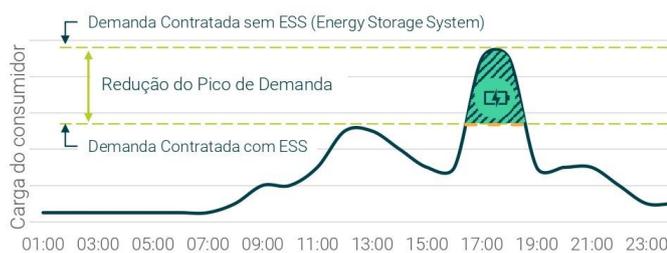


Fig. 7: Exemplo ilustrativo de aplicação de Redução de Pico de Demanda (Greener et al., 2021)

#### 4.3 Backup de Energia

Em muitas regiões do Brasil, consumidores sofrem com elevado índice de interrupções de energia. Além das interrupções, existe uma elevada incidência de oscilações de rede que não são contabilizadas na estatística oficial. Hoje, o consumidor de energia elétrica no Brasil fica em média 14 horas por ano sem o fornecimento de energia elétrica, e em certas empresas, esse tempo pode significar uma perda

financeira significativa com a parada da operação ou acionamento de geradores diesel, em algumas distribuidoras, esse tempo médio pode triplicar (Greener et al., 2021).

Na indústria, portanto, as baterias podem surgir em um processo de substituição ou até em uma operação híbrida com os geradores a diesel, dependendo do perfil de carga e da necessidade, fato que geraria um conjunto de outras possibilidades de usabilidade do armazenamento, como os citados nas seções anteriores.

### 5. ESTUDO DE CASO

Visando buscar um investimento que alie retorno financeiro e sustentável, a *Bruning Tecnometal*, através do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação procura a melhor alternativa de um sistema fotovoltaico que se encaixe no perfil energético da empresa. Dessa forma, no estudo de caso será analisado qual é o perfil de consumo de energia da metalúrgica, com o objetivo de achar a melhor alternativa de geração fotovoltaica, e aliar também um estudo em cima do armazenamento, para que tenhamos uma conclusão da melhor decisão a se tomar.

A *Bruning Tecnometal* tem duas fábricas, cada uma com seu medidor, portanto possui duas faturas de cobrança de uso do sistema de distribuição pela concessionária local, a primeira com demanda contratada de 4,9 MW, já a segunda com 1,95 MW de demanda, e faz duas compras separadas de energia no mercado livre. Os consumos das duas fábricas são bem lineares, ou seja, a análise dos gráficos semanais de consumo, vê-se um desenho padrão nos dias de operação, um perfil de carga que é comum em grandes indústrias, pois possuem uma operação padronizada das linhas de produção.

As figuras 8 e 9 apresentam os gráficos de consumo semanal das duas fábricas da metalúrgica.

O consumo da fábrica 01 é responsável aproximadamente por 70% do gasto de energia da Bruning Tecnometal, os 30% restantes ficam a cargo da fábrica 02. A análise dos históricos de consumo indica que, além da linearidade, há pouca carga em horário ponta, justificada pelo fato de o pico de operação das fábricas acontecerem em horário fora ponta, o que já gera economia no pagamento de demanda ponta, que na concessionária local é mais de nove vezes mais cara. Porém, mesmo com o pouco consumo em horário ponta em relação ao horário fora ponta, o pagamento de demanda nos dois horários é equivalente financeiramente.

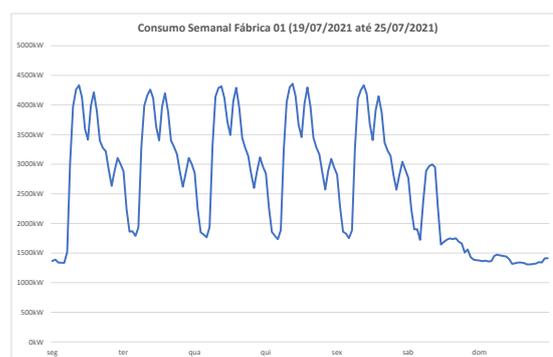


Fig. 8: Consumo semanal da fábrica 01

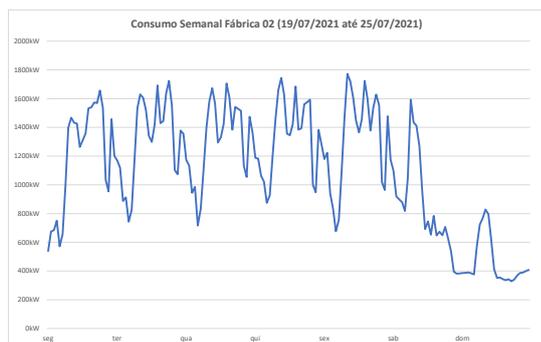


Fig. 9: Consumo semanal da fábrica 02

Na cobrança da concessionária do mês de junho da fábrica 01 por exemplo, foi pago R\$143.187,74 em demanda fora ponta, e R\$139.696,18 em demanda ponta mesmo com o consumo 9x menor em números absolutos, o que traz uma ideia de investimento em armazenamento pensando em uma arbitragem, armazenando energia durante o horário fora ponta para usar no horário mais caro, essa alternativa já geraria uma economia de aproximadamente 30% da fatura de uso do sistema de distribuição.

A Figura 10 e a Figura 11 apresentam a relação do consumo nos horários ponta e fora ponta nas duas fábricas da metalúrgica.

No mercado livre, o consumidor paga duas faturas de energia, uma pela compra de energia e outra pelo uso do sistema de distribuição, no caso da *Bruning*, o gasto com energia equivale a aproximadamente 64%. Já a porcentagem paga pelo uso do sistema de distribuição à concessionária fica em 36%, portanto, o investimento em energia solar fotovoltaica que geraria 100% do consumo das duas fábricas, traria uma economia nos gastos de energia de aproximadamente 64%, pois a empresa deixaria de comprar energia de terceiros e passaria a gerar sua energia de consumo.

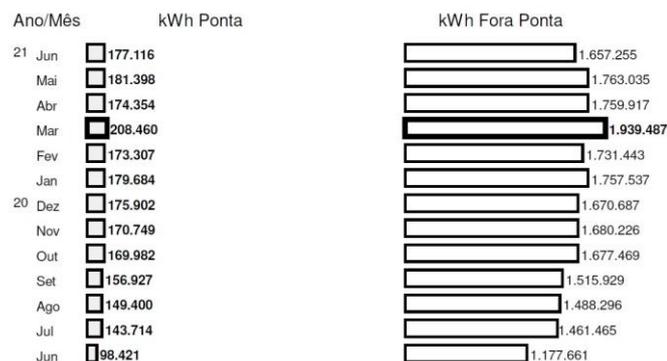


Fig. 10: Consumo anual da fábrica 01



Fig. 11: Histórico de consumo da fábrica 02

O consumo médio mensal das duas fábricas juntas é de 2,4MW/h, levando em consideração painéis de 400W Trina, que hoje são muito comercializados no mercado brasileiro, seriam necessários 51.400 módulos para gerar toda a energia que as fábricas consomem, porém, para a instalação desse número de painéis, necessitaríamos de aproximadamente 108.000m<sup>2</sup> de telhado livre, o que não acontece com o espaço de telhado disponível nas duas fábricas.

Uma das alternativas usadas em relação à otimização de espaço seria investir em painéis mais potentes. Hoje no mercado tem-se disponível painéis de até 600W, e estão chegando novas tecnologias com eficiências ainda maiores, porém o investimento inicial se tornaria mais elevado. Levando em consideração a utilização dos painéis DAH (fabricante de painéis solares chinesa) de 550W por exemplo, o número de painéis necessários reduziria para 37.500 módulos, otimizando o espaço para uma área de aproximadamente 106.000m<sup>2</sup>, ainda não seria possível atingir uma geração de 100% da necessidade de consumo médio da empresa, porém se conseguiria uma parcela maior que utilizando os painéis de 400W.

Com a utilização de 40.000 painéis de 400W, máximo suportado nos 85.000m<sup>2</sup> possíveis, pode-se ter uma geração média de aproximadamente 1,83MW/h mensais, cerca de 76% do consumo das duas fábricas. A Fig. 12 trás essa situação.

Já com a utilização de 30.000 painéis de 550W, máximo suportado nos 85.000m<sup>2</sup> de telhado disponível, a geração média aumentaria para 1,90MW/h mensais, aproximadamente 78% do consumo de energia das duas fábricas. A Fig. 13 apresenta a relação Consumo X Geração para os painéis de 550W.

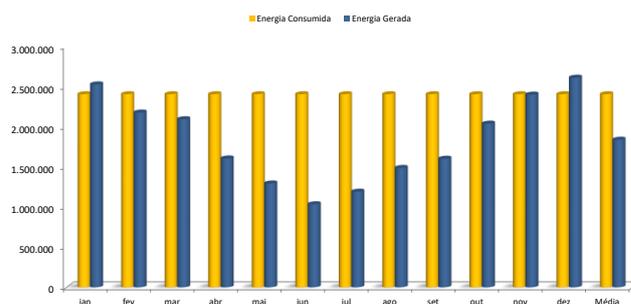


Fig. 12: Relação consumo x geração com painéis de 400W

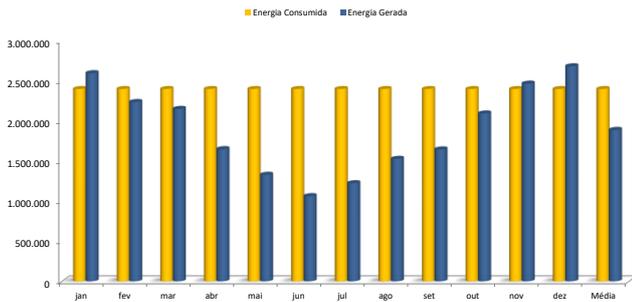


Fig. 13: Relação consumo x geração com painéis de 550W

O maior obstáculo encontrado é em relação à demanda contratada da metalúrgica. Somadas, as demandas da fábrica 01 e 02 resultam em 6,85MW, a instalação da geração solar fotovoltaica não garante redução de demanda e por essa razão deve-se pensar em soluções com o armazenamento de energia para poda de picos ou deslocamento dos mesmos deve ser realizada.

## 6. CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou uma análise do potencial para inserção de recursos energéticos distribuídos em nível industrial. Utilizou-se um estudo de caso prático a partir do interesse da empresa *Bruning Tecnometal* em utilizar geração distribuída. É importante que estudos dessa natureza sejam realizados e divulgados visto que há um potencial para redução da emissão de gases de efeito estufa, gerenciamento energético e eficiência no setor industrial e as soluções devem partir de uma análise global que avalie os objetivos da indústria em conjunto com soluções inovadoras.

A inserção do armazenamento de energia pode trazer ganhos significativos, sobretudo se forem analisados os perfis de consumo e quantificados os ganhos frente a soluções tradicionais que envolvem uso de geradores a diesel ou compra de energia no mercado livre. No momento em que a indústria tem claras possibilidades ao investir em geração e armazenamento, abre-se uma porta para que inovações possam fazer parte das tomadas de decisão sobre o uso da energia e os modelos de negócio que poderão ser desenvolvidos.

Considerando que a *Bruning Tecnometal* é uma grande metalúrgica e gera um impacto significativo na região onde está inserida, o investimento em autoprodução ou armazenamento pode trazer diversos pontos positivos, tanto em um melhor gerenciamento de sua carga, quanto na prestação algum tipo de serviço ancilar para a rede.

## 7. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi elaborado com o apoio do Programa de Mestrado e Doutorado Acadêmico para Inovação – MAI/DAI, chamada pública N°12/2020 do CNPq.

A *Bruning Tecnometal* pela oportunidade e por apoiar a pesquisa, fornecendo todos os dados e informações necessárias para o bom andamento do projeto.

A Universidade Federal de Santa Maria – UFSM por apoiar o desenvolvimento da pesquisa através do Programa de Pós

Graduação em Engenharia Elétrica CAPES PROEX Código 001, CNPq Projeto PQ 1-D 310761/2018 – 2, INCT-GD processo CNPq 465640/2014-1, processo CAPES n° 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551 – 0000517-1.

## 8. REFERÊNCIAS

ANEEL, 2019. Outorgas de Geração. [Online] Available at: <https://www.aneel.gov.br/dados/geracao>

LAU, Lucas. Geração Própria no Mercado Livre de Energia. ShareEnergy, Belo Horizonte, 20 de agosto de 2018. Disponível em: <https://shareenergy.com.br/geracao-propria-no-mercado-livre-de-energia/>

IEA. International Energy Agency (2019). *Key world statistics 2019*. p. 22-24.

Brasil. MME - Ministério de Minas e Energia. EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2018). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2027*. Brasília. 264 p.

ANEEL (2012) *Resolução Normativa no 482/2012*. Brasília, Brazil. Available at: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

ANEEL (2015) *Resolução Normativa no 687/2015*. Brasília, Brazil: Agência Nacional de Energia Elétrica. Available at: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

IEA (2019). *Electricity information 2019: Overview*.

Nadeem, F., Hussain S.M.S., Tiwari, P.K., Goswami, A.K., Ustun, A.T.S. (2018). Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impacts on Future Power Systems. *IEEE Access*. 4555-4585. IEEE.

Bueno A.F.M, Brandão C.A.L. (2017) Visão Geral de Tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil. 3-5. ABAQUE.

Greener, Newcharge. *Estudo Estratégico do Mercado de Armazenamento, Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras*. 94 p. Greener.

BRASIL. Decreto n° 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=2003&ano=1996&ato=418oXUU5EMJpWT050>

BRASIL. Lei n° 9.648, de 27 de maio de 1998. Autoriza o poder executivo a promover a reestruturação das centrais elétricas brasileiras e de suas subsidiárias. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9648&ano=1998&ato=3c5ETVE1EeNpWT1b4>