v7.n9.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CÔMPUTO E VALORAÇÃO DOS POTENCIAIS COMPLETOS (CVPC) DE UM RELD SOB A ÓTICA DO PIR: GERENCIAMENTO DA DEMANDA ATRAVÉS DE UTE A BIOMASSA

COMPUTATION AND VALUATION OF THE COMPLETE POTENTIALS (CVPC) OF A DEMAND-SIDE ENERGY RESOURCE UNDER THE INTEGRATED RESOURCE PLANNING PERSPECTIVE: DEMAND-SIDE MANAGEMENT THROUGH A BIOMASS THERMAL POWER PLANT

CÓMPUTO Y VALORACIÓN DE LOS POTENCIALES COMPLETOS (CVPC) DE UN RECURSO ENERGÉTICO DEL LADO DE LA DEMANDA BAJO LA ÓPTICA DE LA PLANIFICACIÓN INTEGRADA DE RECURSOS: GESTIÓN DE LA DEMANDA MEDIANTE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA A BIOMASA

Bruno Ecker Pizani[1], André Luiz Veiga Gimenes[2], Miguel Edgar Morales Udaeta[3]

e798990
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i9.8990

PUBLICADO: 09/2026

RESUMO

O planejamento energético contemporâneo requer uma abordagem holística que integre tanto os recursos do lado da oferta quanto os do lado da demanda, visando o desenvolvimento sustentável. Este estudo aplica a metodologia do Planejamento Integrado de Recursos (PIR) ao Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD) para avaliar os potenciais completos de um recurso energético pelo lado da demanda (RELD) no setor industrial, utilizando cogeração a partir de biomassa na Região Administrativa de Araçatuba. O Cômputo e Valoração de Potenciais Completos (CVPC) é realizado sob quatro dimensões: técnico-econômica, ambiental, social e política. A cogeração é analisada em termos de eficiência energética, redução de demanda em horários de ponta e impactos socioambientais. O estudo de caso mostra que a cogeração a partir de biomassa oferece benefícios significativos, como redução de custos operacionais e postergação de investimentos no setor elétrico, embora apresente desafios ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento Integrado de Recursos. Gerenciamento pelo Lado da Demanda. Cogeração a biomassa. Cômputo e Valoração de Potenciais Completos. Planejamento energético sustentável.

ABSTRACT

Contemporary energy planning requires a holistic approach that integrates both supply-side and demand-side resources in pursuit of sustainable development. This study applies the Integrated Resource Planning (IRP) methodology to Demand-Side Management (DSM) in order to assess the complete potentials of a demand-side energy resource in the industrial sector, using biomass-based cogeneration in the Administrative Region of Araçatuba, Brazil. The Computation and Valuation of Complete Potentials (CVPC) is carried out across four dimensions: techno-economic, environmental, social and political. Cogeneration is analysed in terms of energy efficiency, peak-demand reduction and socio-environmental impacts. The case study shows that biomass-based cogeneration offers significant benefits, such as reduced operating costs and the deferral of investments in the power sector, although it also presents environmental challenges.

[1] Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná e pesquisador na área de Integração Energética e Mercados de Energia.
[2] Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo e professor do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da EPUSP nas áreas de planejamento energético e planejamento integrado de recursos.
[3] Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e professor de pós-graduação e pesquisador no GEPEA/EPUSP na área de Planejamento Integrado de Recursos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KEYWORDS: *Integrated Resource Planning. Demand-Side Management. Biomass cogeneration. Computation and Valuation of Complete Potentials. Sustainable energy planning.*

RESUMEN
La planificación energética contemporánea requiere un enfoque holístico que integre tanto los recursos del lado de la oferta como los del lado de la demanda, con miras al desarrollo sostenible. Este estudio aplica la metodología de la Planificación Integrada de Recursos (PIR) a la Gestión del Lado de la Demanda (GLD) para evaluar los potenciales completos de un recurso energético del lado de la demanda en el sector industrial, utilizando la cogeneración a partir de biomasa en la Región Administrativa de Araçatuba, Brasil. El Cómputo y Valoración de Potenciales Completos (CVPC) se realiza bajo cuatro dimensiones: técnico-económica, ambiental, social y política. La cogeneración se analiza en términos de eficiencia energética, reducción de la demanda en horas punta e impactos socioambientales. El estudio de caso muestra que la cogeneración a partir de biomasa ofrece beneficios significativos, como la reducción de costos operativos y la postergación de inversiones en el sector eléctrico, aunque presenta desafíos ambientales.

PALABRAS CLAVE: *Planificación Integrada de Recursos. Gestión del Lado de la Demanda. Cogeneración a biomasa. Cómputo y Valoración de Potenciales Completos. Planificación energética sostenible.*

INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel essencial no desenvolvimento humano, influenciando o ambiente, a política e a sociedade. O planejamento energético busca garantir segurança e autossuficiência, avaliando tendências e estratégias para expandir a oferta de energia. No entanto, a dependência histórica de combustíveis fósseis aumentou significativamente as emissões de gases de efeito estufa (GEEs), tornando urgente a transição para uma matriz energética mais sustentável.

Estudos de longo prazo são essenciais para formular políticas públicas que garantam a expansão da oferta de energia, assegurando segurança energética, acesso universal a energia, desenvolvimento econômico, dentre outros benefícios (EPE, 2020). Porém, historicamente, o planejamento energético priorizou critérios técnico-econômicos, negligenciando os impactos sociais e ambientais da inserção de novos recursos energéticos. Somente com a evolução da ciência atmosférica, a partir da década de 1980, compreenderam-se os efeitos das emissões de GEEs geradas pelos processos de energia (KANAYAMA, 2007). Essas descobertas resultaram em uma mudança de paradigma, levando à transição energética voltada à neutralidade de carbono (SCHAEFFER et al., 2012). Tratados internacionais, como o Protocolo de Montreal, o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris refletem a crescente cooperação internacional para mitigar as mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em complemento, nota-se que, no planejamento energético contemporâneo, tradicionalmente focado na expansão da oferta, a necessidade de reavaliar as metodologias de avaliação tornou-se evidente. Além de garantir a geração suficiente para atender à demanda futura, é crucial também considerar como a energia é consumida e de que forma esse consumo pode ser otimizado de maneira mais eficiente e sustentável. Segundo Baitelo (2011), há um enorme potencial a ser explorado no lado da demanda, em que os Recursos Energéticos do Lado da Demanda (RELDs) emergem como uma solução estratégica para empresas e consumidores que buscam maior eficiência energética e sustentabilidade. Os RELDs envolvem medidas como programas de resposta à demanda, melhorias na eficiência energética de instalações e equipamentos, além do uso de tecnologias renováveis de geração distribuída (BAITELO, 2006).

O planejamento integrado de recursos (PIR) surge dessa mudança de paradigma, com a proposta de oferecer uma ferramenta de caráter sustentável para auxiliar na tomada de decisão, em busca do melhor aproveitamento dos recursos energéticos (na geografia e no tempo), a fim de continuar expandindo a oferta de energia com o menor custo completo, ao considerar as quatro dimensões de análise. A metodologia também busca integrar, de forma equilibrada, os recursos da oferta e da demanda, garantindo uma abordagem holística do planejamento energético.

Portanto, este estudo pretende realizar, a partir do PIR desenvolvido por Udaeta (1997), o Cômputo e Valoração dos Potenciais Completos (CVPC) de um recurso energético pelo lado da demanda (RELD) de cogeração que, a partir da biomassa, consegue gerar eletricidade e calor. Para atingir tal objetivo, inicialmente será apresentado o contexto e importância do planejamento energético com foco em desenvolvimento sustentável diante do processo de transição energética atual. Também será discutido o estado da arte acerca do PIR, assim como a sua metodologia e a forma correta de realizar o CVPC de todos os atributos do recurso energético (RE) referentes às quatro dimensões de análise. Por fim, um estudo de caso será conduzido para avaliar o impacto completo de um RELD (gerenciamento da demanda através de cogeração) do setor industrial inserido na Região Administrativa de Araçatuba (RAA), além das considerações finais.

Como objetivos específicos, o trabalho pretende: (i) caracterizar o RELD selecionado quanto à fonte, à tecnologia e ao uso final; (ii) computar e valorar os atributos das dimensões técnico-econômica, política, ambiental e social; (iii) consolidar o CVPC do recurso em uma matriz única de resultados; e (iv) discutir as vantagens e as limitações do recurso frente à geração centralizada.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1. O PLANEJAMENTO INTEGRADO DE RECURSOS (PIRnaUSP)

O planejamento integrado de recursos desenvolvido pelo Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica (GEPEA) na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, chamado de PIRnaUSP ou apenas PIR, surge da busca de equilíbrio dos aspectos econômico, social, ambiental e político.

O PIR tem como objetivo identificar os recursos energéticos disponíveis na região analisada e fornecer maneiras de aproveitá-los de forma eficiente (BAITELO, 2011). Como resultado, espera-se fornecer ao tomador de decisão subsídios para uma disponibilização de energia com o menor custo completo, ao considerar as quatro dimensões. A metodologia envolve a elaboração de um conjunto de estratégias que visa otimizar o uso dos recursos energéticos de uma determinada região, com total ênfase no desenvolvimento sustentável e duradouro dessa mesma região (GIMENES, 2004; UDAETA, 2012).

O PIR é objeto de estudo por diversos pesquisadores, que desenvolveram trabalhos e aprimoramentos a partir da sua metodologia tradicional. Relva (2022) inova na metodologia ao criar um modelo de Mapeamento Energoambiental que possa ser aplicado a qualquer recurso energético e em qualquer região, sem restrições, diferenciando-se de outros métodos de planejamento que geralmente não consideram a interação dos recursos com o ambiente onde serão inseridos. Silva (2022) utiliza o PIR como base para o desenvolvimento de um modelo de planejamento energético voltado à integração de recursos energéticos transnacionais.

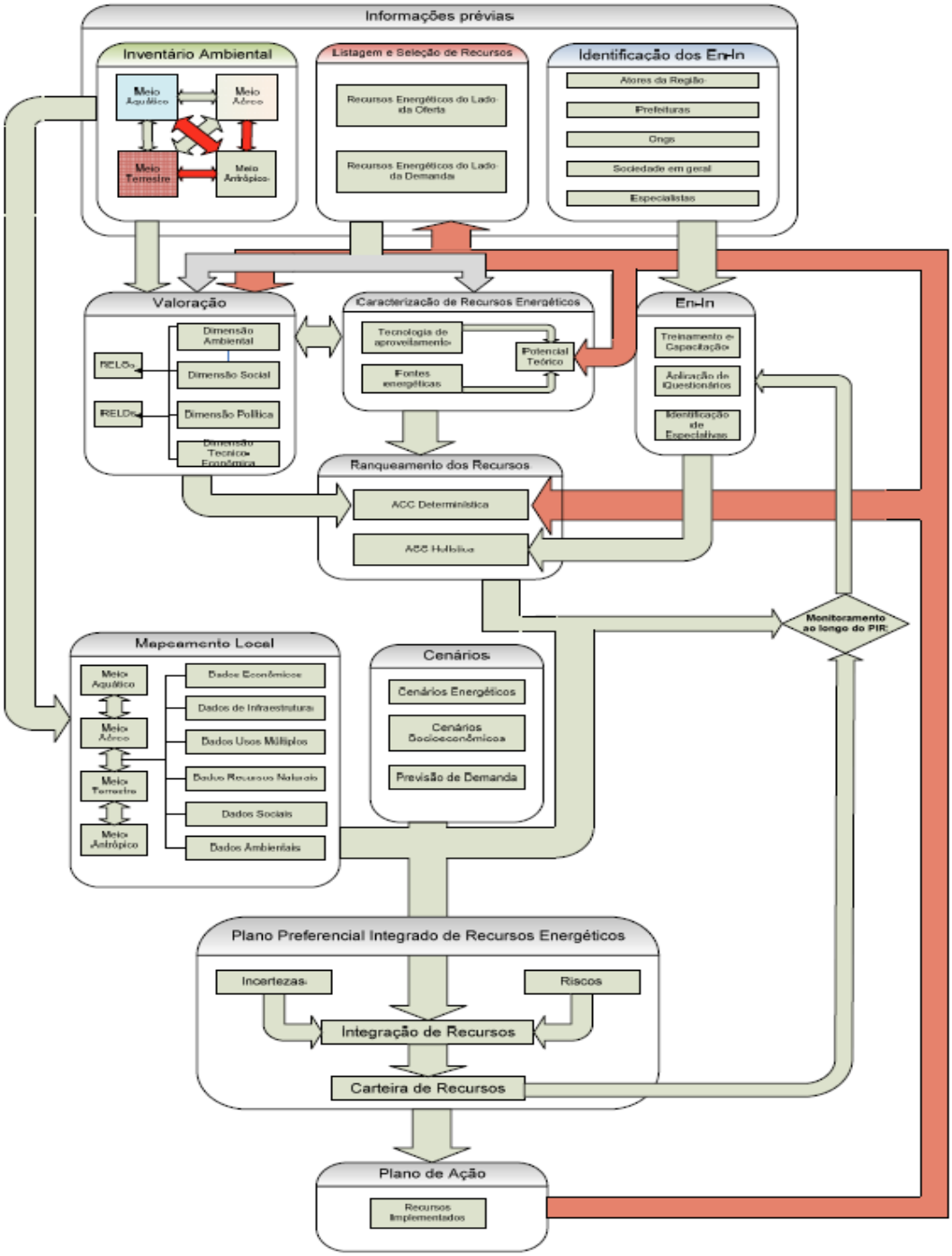
A implementação do PIR é composta por quatro fases principais, que se desenvolvem de forma cronologicamente sequencial. Cada uma dessas fases pode ser subdividida em etapas que podem ocorrer de maneira simultânea ou em momentos diferentes. A Figura 1 ilustra o esquema estrutural do PIR. Na primeira etapa, são levantadas as informações prévias. Isso representa a coleta de dados essenciais para o desenvolvimento do PIR, como informações sobre os recursos energéticos e o inventário ambiental. Essa fase pode ser revisada periodicamente para ajustar os recursos energéticos com base em novos dados.

A segunda parte consiste na construção do ranqueamento. O ranqueamento é feito considerando as quatro dimensões de análise, organizando os recursos em uma ordem decrescente de aproveitamento energético.

Na terceira etapa é feito o Plano Integrado de Recursos Energéticos Preferencial, que é a integração dos recursos energéticos considerando o mapeamento energoambiental e a coordenação com os agentes envolvidos. Esse plano leva em conta os recursos mais viáveis em uma localização e período específicos.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Diagrama esquemático do PIR



Fonte: Udaeta (2012).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A fase final consiste no Plano de Ação, em que os resultados são apresentados aos envolvidos e interessados (En-In). Essa etapa define os recursos energéticos que devem ser implementados imediatamente para iniciar o processo do PIR, com foco no desenvolvimento sustentável.

1.1. Cômputo e Valoração do Potencial Completo (CVPC)

Esse trabalho traz como foco um módulo importante inserido na segunda etapa, que consiste no Cômputo e Valoração do Potencial Completo (CVPC) dos recursos energéticos. O CVPC tem como objetivo a definição do potencial completo (quantitativo e/ou qualitativo) do recurso energético nas quatro dimensões consideradas na metodologia PIR. O cálculo dos potenciais completos dos recursos vai além da análise tradicional, considerando não apenas os fatores usuais na formação de tarifas energéticas, mas também benefícios técnicos, econômicos, sociais e ambientais (RIGOLIN, 2013).

No processo de valoração dos recursos energéticos dentro do PIR, é fundamental começar com o levantamento e caracterização dos recursos existentes em uma determinada região, seguido pela avaliação dos potenciais teóricos, que no PIRnaUSP é chamado de potencial realizável teórico. Após essa etapa, inicia-se a valoração dos recursos para determinar o potencial realizável, a fim de estruturar carteiras de recursos energéticos e integrá-los ao longo do tempo. Com a carteira de recursos definida, é possível elaborar o Plano Integrado de Recursos Preferencial, que visa otimizar a alocação eficiente e racional dos recursos, tanto do lado da oferta (RELO) quanto da demanda (RELD). Nesse processo de valoração, cada atributo ou subatributo dos recursos energéticos é computado e avaliado em quatro dimensões: técnico-econômica, ambiental, social e política. Além disso, são considerados elementos adicionais, como os custos das tecnologias envolvidas e as taxas de juros vigentes no mercado, para garantir uma análise completa e precisa dos recursos energéticos (UDAETA, 2012).

Baitelo (2011) busca desenvolver em sua tese uma base sólida de dados que permita o ranqueamento e a integração eficiente dos recursos energéticos, tanto do lado da oferta quanto da demanda. Assim, o Cômputo e Valoração assegura que os recursos sejam analisados e gerenciados de forma flexível, possibilitando sua aplicação em diferentes cenários e regiões, garantindo um planejamento energético eficiente e sustentável. O autor classifica as quatro dimensões de análise conforme mostrado abaixo.

- **Dimensão Política**: Analisa fatores que orientam a implementação de recursos energéticos, considerando os interesses e a convergência de diferentes partes

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

envolvidas, como empreendedores, fornecedores, concessionárias e consumidores. A decisão pela adoção de um recurso depende da harmonia entre esses agentes.

- **Dimensão Ambiental**: Examina os impactos dos sistemas energéticos sobre o meio ambiente, avaliando as consequências das decisões energéticas em termos de benefícios e prejuízos para o ecossistema.
- **Dimensão Social**: Estuda os efeitos dos sistemas energéticos sobre a sociedade, incluindo impactos na saúde e na qualidade de vida das populações afetadas, tanto positivos quanto negativos.
- **Dimensão Técnico-Econômica**: Envolve a análise de parâmetros quantificáveis relacionados ao custo e à viabilidade técnica dos recursos energéticos. Esta dimensão se destaca por ser mais facilmente mensurável em comparação com as outras, servindo de base para estudos de viabilidade econômica no planejamento energético.

O CVPC vai além da simples análise de fatores usuais, como tarifas energéticas, ao incorporar a avaliação de impactos tangíveis e intangíveis, adotando uma abordagem multicritério. O processo reconhece a importância de incluir variáveis menos quantificáveis, como os impactos ambientais e sociais, em conjunto com a dimensão política, para proporcionar uma análise mais holística e realista sobre a viabilidade e implementação de recursos energéticos no PIR. Essa abordagem se justifica pelos desafios que os planejadores energéticos enfrentam atualmente, como a necessidade de atender a políticas de emissões de gases de efeito estufa e outras demandas de sustentabilidade.

1.2. Recursos Energéticos pelo lado da Demanda (RELD)

A avaliação conjunta de recursos energéticos do lado da oferta e da demanda é uma das principais vantagens do PIRnaUSP. Independentemente do recurso energético, ele é avaliado pela sua função de disponibilizar energia, seja diretamente pela geração ou através de medidas de eficientização dos usos finais. Sob essa lógica, a energia economizada por meio do Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD) é tratada como recurso equivalente à geração, com a vantagem de custar menos que a expansão da oferta e de postergar investimentos no setor energético (BAITELO, 2011).

O GLD engloba ações e programas voltados ao controle do consumo e da demanda de energia, entre eles a gestão da carga, a conservação de energia, a substituição de combustíveis e a adoção de medidas regulatórias e tarifárias, executados por concessionárias, governo e empresas de serviços energéticos (BAITELO, 2006). Por atuar sobre o consumo, e não sobre a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

capacidade instalada, o GLD reduz a exposição do planejamento às incertezas das projeções de demanda e oferece energia a custos menores, econômicos e ambientais, o que o alinha aos objetivos de desenvolvimento sustentável que orientam o PIR.

2. CVPC DE RECURSO ENERGÉTICO PELO LADO DA DEMANDA

Atualmente, o Brasil enfrenta um problema de sobreoferta estrutural no setor elétrico, o que dificulta a inserção de novos RELOs. Diante desse cenário, a EPE tem recomendado o fortalecimento de medidas de eficiência energética, com estimativas de ganhos que podem chegar a 53 TWh em 2035, equivalentes a 6% do consumo elétrico potencial projetado para aquele ano (EPE, 2026a). Essas medidas são essenciais para otimizar o uso dos recursos existentes e evitar investimentos desnecessários em infraestrutura de geração.

No contexto do PIR, a metodologia utilizada visa listar e selecionar recursos energéticos de maneira equilibrada, considerando tanto a oferta quanto a demanda. Nesse processo, os Recursos Energéticos do Lado da Demanda (RELDs) são segmentados em três categorias principais: Medidas, que incluem ações e programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD); Tecnologias, como controladores de demanda, lâmpadas eficientes e baterias; e Setores Energéticos, que abrangem os setores comercial, industrial, residencial e público.

Neste estudo de caso, é analisada uma planta de cogeração que utiliza biomassa para gerar eletricidade e calor. O calor gerado é aproveitado no processo de fabricação industrial, aumentando a eficiência do sistema. Durante os horários de ponta, quando as tarifas de consumo de energia são mais altas, a empresa consegue reduzir o consumo da energia proveniente da rede da distribuidora, utilizando a energia elétrica gerada localmente pela cogeração para atender suas necessidades.

Assim, o recurso energético pelo lado da demanda (RELD) avaliado neste caso é baseado no Gerenciamento da Demanda, tendo como Fonte a biomassa, com Uso final em eletricidade, por meio da Tecnologia de cogeração. A planta está situada no Setor industrial da Região Administrativa de Araçatuba (RAA). Esse arranjo contribui não apenas para a otimização do consumo energético em horários críticos, mas também para a redução de custos e o aumento da sustentabilidade do processo industrial.

A proposta para essa análise é avaliar cada atributo com base em uma classificação qualitativa de impacto, considerando os efeitos do recurso energético no contexto do desenvolvimento sustentável. A classificação adotada utiliza cinco níveis de impacto: Alto Impacto Positivo, Baixo Impacto Positivo, Sem Impacto, Baixo Impacto Negativo e Alto Impacto

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Negativo. Cada nível reflete o grau de contribuição ou desafio do atributo específico na implementação do recurso energético em análise.

- Alto Impacto Positivo é atribuído quando o atributo contribui significativamente para os objetivos sustentáveis relacionados ao PIR, sem impactos negativos expressivos;
- Baixo Impacto Positivo indica uma contribuição moderada, com benefícios claros, mas de alcance mais restrito;
- Sem Impacto é usado quando o atributo não apresenta efeitos significativos na dimensão de análise, seja positivo ou negativo. Esse nível é indicado quando o atributo é neutro ou irrelevante no contexto de uso do RE;
- Baixo Impacto Negativo sugere que o atributo apresenta desafios menores, porém sem comprometer a viabilidade do recurso;
- Alto Impacto Negativo é atribuído quando o atributo apresenta barreiras significativas, como alto custo econômico, impacto ambiental elevado ou baixa aceitação social, que podem dificultar a adoção do recurso.

Esta classificação qualitativa permite uma análise integrada dos potenciais desafios e benefícios associados ao recurso, orientando decisões de implementação com base em uma visão equilibrada de seus impactos em todas as dimensões de análise. Quanto à natureza, esta pesquisa classifica-se como aplicada, quanto à abordagem do problema, como qualitativa, e quanto aos procedimentos técnicos, como estudo de caso único, apoiado em pesquisa bibliográfica e documental. Os dados são de fonte secundária e compreendem publicações oficiais do setor elétrico (EPE, ANEEL e ONS), dados de produção agrícola do IEA e da CONAB, as tarifas homologadas da distribuidora local e a ficha técnica do fabricante do sistema de cogeração.

A atribuição dos níveis a cada atributo foi realizada pelos autores a partir das evidências levantadas em cada dimensão, tomando-se como referência os limiares descritos acima. Reconhece-se que essa valoração carrega um grau de subjetividade, uma vez que não foram aplicados painel de especialistas nem método de ponderação multicritério, procedimentos previstos no modelo original do CVPC. Optou-se pela escala qualitativa por se tratar de um recurso ainda pouco documentado na literatura do PIR, ficando a validação por especialistas e a análise de sensibilidade dos pesos como desdobramentos para trabalhos futuros.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção os atributos do RELD selecionado são computados e valorados nas dimensões técnico-econômica, política, ambiental e social, sendo os resultados consolidados na matriz de CVPC apresentada na subseção 3.5.

3.1. Dimensão técnico-econômica

A valoração da dimensão técnico-econômica para recursos energéticos do lado da demanda concentra-se em atributos voltados aos cálculos de economia de energia e redução de demanda, trabalhados por meio de metodologias conhecidas.

3.1.1. Potencial energético teórico

O cômputo e a valoração do potencial energético teórico do bagaço de cana avaliaram a disponibilidade do insumo na Região Administrativa de Araçatuba com base na produção de cana-de-açúcar registrada no ano agrícola 2023/24.

Conforme o levantamento de safra do Instituto de Economia Agrícola, no ano agrícola 2023/24 a Região Administrativa de Araçatuba contava com 668.119 hectares de cana-de-açúcar para indústria em produção, dos quais foram colhidas 50,434 milhões de toneladas (IEA, 2024). A produtividade média implícita, de aproximadamente 75 toneladas por hectare, é compatível com a média nacional apurada pela Conab para a safra 2025/26, de 75.184 kg/ha (CONAB, 2026).

Segundo a ÚNICA (2009), cada tonelada de cana produz 250 kg de bagaço e 204 kg de palhas e pontas, podendo gerar 199,9 kWh de eletricidade (já descontada a proporção destinada a consumo próprio). Dessa forma, a produção potencial é de 10,082 milhões de MWh, o equivalente a 3.488 MW a um fator de capacidade médio de 33%, fator indicado pela EPE para usinas a cana-de-açúcar no PNE 2050 (EPE, 2020).

Portanto, pode-se considerar que há insumo suficiente para atender a UTE a biomassa considerada no estudo de caso, que possui capacidade instalada de 100 kW. Em termos de potência equivalente, o potencial da região é cerca de 35 mil vezes superior ao da usina analisada.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.1.2. Tempo de implantação

O tempo médio de implantação é resultado da somatória dos tempos de projetos e estudos ao tempo de construção e tempo de obtenção do parecer de acesso junto à distribuidora, para integrar o sistema de geração distribuída à sua rede elétrica.

A implementação de um sistema de cogeração eficiente exige um estudo detalhado dos sistemas termodinâmicos e dos processos operacionais envolvidos, para definir as condições de operação e combinar de forma otimizada os recursos tecnológicos, máquinas e equipamentos disponíveis. Será considerado um prazo de cerca de 3 meses para essa etapa.

Segundo informações do fabricante da UTE considerada, o sistema de gaseificação de biomassa Biowatt 100 (POWERMAX GASIFIERS, 2026) é projetado para fácil transporte e rápida instalação em estruturas de contêineres montadas em patins, sendo testado na fábrica para reduzir o tempo de comissionamento. A instalação no local leva de 7 a 10 dias úteis. O maior tempo nessa etapa seria destinado à entrega dos equipamentos *in loco*, e como se trata de um fornecedor estrangeiro pode-se considerar cerca de 3 meses para essa etapa.

Por fim, para a obtenção do parecer de acesso e liberação por parte da distribuidora para a integração do sistema de GD à sua rede, será necessário enviar à distribuidora uma solicitação formal, com a documentação exigida (incluindo formulários específicos e estudos necessários). Após a análise da documentação enviada, a distribuidora emitirá o parecer de acesso. O prazo varia de acordo com a necessidade de obras na rede, mas tem prazo máximo de 60 dias. Uma vez que isso pode ser elaborado em paralelo com o restante dos projetos já descritos e com a construção da UTE, não será necessário acrescentar mais tempo total à implantação.

Portanto, considera-se que o tempo total de implantação será de cerca de 6 meses, não significando desvantagem em comparação a outros sistemas de geração de energia, mas sim em relação a outros RELDs, como técnicas de eficiência energética, deslocamento da curva de demanda, ou migração ao Ambiente de Contratação Livre, que costumam ser implementadas em tempo menor. Pode-se classificar esse atributo para o RELD escolhido como baixo impacto negativo.

3.1.3. Energia economizada

O RELD em análise não causará uma redução na energia consumida, mas fará com que o consumidor gere parte do seu consumo localmente e assim ele não precisará comprar essa parcela da distribuidora de energia. Portanto, não há uma redução na quantidade de energia consumida, mas sim uma economia financeira em relação a esse montante.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Para estimar a economia no consumo, deve-se considerar um nível de tensão e uma modalidade tarifária para o consumidor. É definido que se trata de um consumidor do subgrupo A3 (69 kV) atendido na modalidade horo-sazonal azul. A região de Araçatuba é atendida pela distribuidora CPFL Paulista. No último reajuste tarifário aprovado, a ANEEL aprovou a tarifa de energia elétrica a ser praticada pela CPFL conforme a Tabela 1.

Como explicado na introdução do estudo de caso, considera-se que a usina de cogeração será utilizada para gerar energia elétrica durante o intervalo de ponta, quando as tarifas de consumo são mais elevadas. É considerado horário de ponta um período de três horas consecutivas durante o dia, excluindo sábados, domingos e feriados.

Tabela 1. Tarifas de Energia da CPFL Paulista vigentes a partir de 22/04/2026 para a Modalidade Tarifária Horo-sazonal Azul

Subgrupo	Demanda Ponta (R$/kW)	Demanda Fora Ponta (R$/kW)	TUSD (R$/kWh)	TE Ponta (R$/kWh)	TE Fora Ponta (R$/kWh)
A3(69 kV)	31,90	10,85	0,1346	0,4257	0,2666

Fonte: CPFL ENERGIA (2026).

Logo, assumindo que a UTE gerará energia nesse período e desconsiderando tempo de ligação, rampa de partida e manutenções, pode-se dizer que a geração anual da UTE será igual à sua potência multiplicada por 3 horas ao dia, durante 252 dias úteis no ano. A sua geração anual será de 75.600 kWh.

A economia financeira associada ao consumo será a quantidade de geração anual multiplicada pelas parcelas de Tarifa de Energia (TE) em horário de ponta e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que somadas representam 0,5603 R$/kWh, sem impostos. Portanto, a economia anual do consumidor será aproximadamente R$ 42.358,68, sem considerar a incidência de impostos (PIS, COFINS e ICMS).

3.1.4. Redução da demanda na ponta

Seguindo a mesma linha do atributo anterior, a partir do RELD considerado não haverá efetivamente uma redução na demanda de ponta, mas sim uma economia financeira em relação a essa parcela, pois agora não será demandada a mesma quantidade de energia da distribuidora.

A demanda de energia contratada de um consumidor de alta tensão refere-se à quantidade máxima de potência que o consumidor acorda com a distribuidora para utilizar em um determinado período. Mesmo que o consumidor não utilize toda a potência contratada, ele ainda pagará pela demanda mínima estipulada no contrato.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A partir disso, pode-se considerar que o RELD permitirá ao consumidor reduzir o seu contrato de demanda com a distribuidora em 100 kW, potência máxima da usina. A economia referente a essa parcela será a redução proposta de demanda multiplicada pela tarifa de demanda na ponta para cada mês de faturamento. Logo, a economia será igual a R$ 3.190,00 mensalmente, ou R$ 38.280,00 anualmente.

3.1.5. Investimento total

O investimento total para esse caso é representado pelo CAPEX, ou despesas de capital, da UTE. Para definição desse custo, não foi obtida uma cotação do sistema de cogeração considerado. Em vez disso, optou-se por utilizar dados divulgados pela EPE no Plano Decenal de Expansão de Energia 2035 (EPE, 2026a). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, o CAPEX de uma UTE a bagaço de cana-de-açúcar situa-se entre R$ 3.000,00 e R$ 7.000,00 por kW, a preços de dezembro de 2024 e sem juros durante a construção. Para o estudo de caso, adota-se a média aritmética de R$ 5.000,00 por kW, que resulta em R$ 500.000,00.

3.1.6. Custo de operação e manutenção

Utilizando a mesma base de dados do PDE 2035, tem-se que o custo de Operação e Manutenção anual de uma UTE a bagaço de cana-de-açúcar é equivalente a R$ 100,00 por kW. Para esse caso, portanto, o custo é de R$ 10.000,00 por ano.

3.1.7. Qualidade de energia

Por conta da ausência de registros de comprometimento da qualidade da energia fornecida aos consumidores de eletricidade por instalações de cogeração a biomassa, assume-se que este atributo não tenha interferência negativa na valoração deste recurso.

3.2. Dimensão política

A valoração dos atributos da dimensão política vale-se essencialmente de análises qualitativas para mensurar o potencial de implementação e aproveitamento de recursos. No gerenciamento do lado da demanda, os fatores preponderantes concentram-se na avaliação de políticas de incentivo e na ponderação de balanço e interação entre atores do setor. A posse e a propriedade de recursos são entendidas como questões tecnológicas e não são avaliadas para RELDs.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.2.1. Instrumentos políticos

As usinas térmicas a biomassa no Brasil têm recebido uma série de incentivos políticos e regulatórios para fomentar seu desenvolvimento e aumentar a sua participação na matriz elétrica nacional. Dentre as principais medidas, pode-se citar:

- Leilões de Energia de Fontes Alternativas: O governo brasileiro realiza leilões específicos para fontes de energia renováveis, incluindo a biomassa. Esses leilões garantem contratos de longo prazo para a venda de energia, o que oferece maior segurança financeira para os investidores.
- Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica): Criado em 2002, o Proinfa visa diversificar a matriz energética nacional. Ele inclui incentivos para a geração de energia a partir de biomassa, eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), com a compra garantida de energia a preços competitivos.
- Descontos em Tarifas de Transmissão e Distribuição: Fontes de energia renováveis, como biomassa, recebem descontos de até 50% nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, conforme previsto pela ANEEL. Isso reduz os custos operacionais e aumenta a competitividade da biomassa no mercado.

O gerenciamento pelo lado da demanda também é um recurso energético altamente consolidado, uma vez que a estrutura tarifária do setor elétrico foi definida através da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 (BRASIL, 1995). Essa lei permite que as tarifas de energia elétrica sejam diferenciadas de acordo com as características técnicas e os custos específicos de cada segmento de usuário.

3.2.2. Licenciamento ambiental e autorização de construção

O tempo total de implantação de uma usina envolve, além do período de estudos e projeto e da construção propriamente dita, processos políticos relacionados à autorização técnica e legal para a construção do empreendimento, embasada em múltiplos critérios de avaliação e aprovação.

Mesmo usinas de minigeração distribuída, modalidade considerada para esse estudo de caso, precisam de licenciamento ambiental. No entanto, esse processo para essas usinas tende a ser simplificado em comparação com grandes empreendimentos de geração de energia.

No estado de São Paulo, região de análise do estudo de caso, o licenciamento ambiental para geração distribuída de energia a partir de biomassa é regulamentado principalmente pela Resolução SMA nº 51/2006 (SÃO PAULO, 2006). Esta resolução estabelece as diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental no Estado de São Paulo, sendo um dos principais

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

marcos que define as categorias de empreendimentos sujeitos a licenciamento. Para projetos de geração de energia a partir de biomassa, a resolução especifica critérios de avaliação relacionados ao porte da usina, ao processo de geração de energia e ao tipo de biomassa utilizada (resíduos agrícolas, industriais etc.). A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é o órgão responsável pela emissão das licenças ambientais no estado.

Já a Resolução CONAMA nº 237/1997 (BRASIL, 1997), embora de âmbito federal, é aplicada como base para os processos de licenciamento em São Paulo, servindo de guia para a CETESB na definição dos tipos de licenciamento (como o simplificado).

Para usinas de minigeração distribuída a biomassa que se enquadram em critérios de baixo impacto, como pequenos empreendimentos, a CETESB pode emitir uma Licença Ambiental Simplificada (LAS), o que unifica as três fases tradicionais (Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação) em uma única licença, acelerando o processo. O prazo geral para análise das licenças ambientais é, em média, de 6 a 12 meses, dependendo do porte e da complexidade do empreendimento, mas esse prazo pode variar. Para projetos com impacto reduzido, a CETESB busca realizar o processo de forma mais rápida.

3.2.3. Envolvidos e interessados

Com a descentralização dos sistemas de geração e participação mais ativa dos consumidores finais na cadeia dos processos energéticos, os RELDs somados a medidas de eficiência energética têm sido incentivados e recebido apoio de órgãos governamentais e da sociedade em geral.

Governo Federal: o governo seria beneficiário da utilização em larga escala dessa tecnologia uma vez que a geração distribuída em horário de ponta diminuiria o pico de demanda por energia elétrica, tornando a curva de carga mais uniforme. Essa redução diminuiria a pressão sobre investimentos no setor elétrico e consequentes impactos socioambientais provenientes da construção de novas usinas.

Empresa de Pesquisa Energética: A EPE incentiva medidas de eficiência energética e a inserção de RELDs no sistema elétrico, uma vez que o país enfrenta uma sobreoferta estrutural e dificuldade para inserir novos RELOs.

Distribuidoras: A geração distribuída reduz o consumo de energia elétrica, o que deve implicar diminuição da receita das distribuidoras. Além disso, as redes de distribuição nem sempre estão dimensionadas para suportar fluxo de energia bidirecional, o que pode acarretar danos aos componentes da rede da distribuidora. Estas, porém, posicionam-se de forma neutra

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em relação ao recurso, uma vez que uma posição contrária prejudicaria sua imagem frente à sociedade.

Sociedade: A população apoia parcialmente a aplicação do recurso em função dos seus benefícios ambientais. Por outro lado, os maiores entraves para a popularização do recurso energético são o alto investimento inicial para a aquisição do equipamento e da fonte de combustível, sendo essa uma tecnologia que acaba se restringindo a consumidores industriais de grande porte.

3.3. Dimensão ambiental

A valoração da dimensão ambiental para os recursos do lado da demanda aborda essencialmente a potencial redução de impactos aos meios aéreo, aquático e ao solo em decorrência da aplicação de medidas de eficiência energética.

3.3.1. Meio aéreo

Nesse meio, o foco será no atributo Gases de Efeito Estufa (GEEs). Pode-se efetuar uma comparação de quantas toneladas de CO_2 equivalente (tCO_2eq) serão emitidas pela geração de energia a partir da UTE a biomassa com a geração da mesma quantidade de energia necessária a partir da geração centralizada do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Para estimar a emissão total da usina a biomassa, deve-se primeiro definir o fator de emissão do bagaço de cana-de-açúcar, combustível definido para o estudo de caso. Com base em relatório do IPCC (EGGLESTON et al., 2006), o bagaço de cana-de-açúcar contém, normalmente, cerca de 45-50% de carbono em massa na matéria seca. Como cada átomo de carbono (C) na biomassa, ao ser oxidado, resulta em uma molécula de CO_2, é necessário multiplicar pelo fator de conversão de C para CO_2, que é 44/12 (molecularmente, CO_2 tem um peso de 44 enquanto o carbono tem 12). Portanto, o fator de emissão estimado é de 1,83 kg de CO_2 por kg de bagaço seco. A partir da ficha técnica da usina, estima-se que ela consome cerca de 125 kg de bagaço por hora. Logo, a usina emitiria aproximadamente 229 kg de CO_2 por hora com base no consumo de bagaço de cana-de-açúcar. Uma vez que a potência da usina é de 100 kW, pode-se dizer que a usina emite aproximadamente 0,00229 tCO_2eq/kWh.

Para comparar com a geração centralizada comandada pelo ONS, pode-se utilizar a intensidade de emissões da geração elétrica brasileira publicada no Balanço Energético Nacional 2026, ano base 2025 (EPE, 2026b). Em 2025, cada MWh gerado no Brasil emitiu, em média, 67,5 kg de CO_2 equivalente, o que corresponde a aproximadamente 0,0000675 tCO_2eq/kWh, cerca de 34 vezes menos do que a geração local pela UTE a biomassa.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nota-se que o RE em estudo possui desvantagem nesse atributo em relação à geração centralizada, uma vez que o Brasil é referência mundial em geração de energia elétrica por fontes renováveis. No ano de 2025, por exemplo, a geração anual por fontes renováveis (UHEs, biomassa, fontes eólica e solar) totalizou 86,8% da geração total do SIN. Para compensar parte das emissões do RELD em análise e mitigar o impacto negativo desse atributo, pode-se avaliar a inserção de um sistema de captura e armazenamento de carbono (CCS).

3.3.2. Meio aquático

Considerou-se que não há emissão de poluentes nos corpos d'água da RAA no processo de geração de energia da usina a biomassa.

A quantidade necessária de água de resfriamento no processo de geração por fontes a biomassa é pequena (aprox. 1,82 m³/MWh efetivamente consumida e 1,89-2,27 m³/MWh retirada mas devolvida ao ambiente após o uso), sendo seu impacto de baixa relevância (PAN et al., 2018).

Por fim, pode-se considerar que ao gerar energia localmente para atender a sua demanda, o consumidor reduz a geração centralizada controlada pelo ONS, que, a depender das condições hidrológicas, costuma despachar usinas térmicas de grande porte e rápida resposta para atender o pico de carga. A utilização de água no processo dessas usinas pode ser até cem vezes maior que a do gerador distribuído, se considerar a água retirada, mas devolvida ao ambiente após o uso. Portanto, o impacto no atributo Utilização da Água pode ser visto como positivo para o RELD em questão.

3.3.3. Meio terrestre

Em relação às usinas de biomassa, destaca-se a capacidade de reutilização de resíduos líquidos e sólidos que, inicialmente, seriam descartados como lixo, mas que, por meio de processos específicos, são convertidos em combustível para a geração de energia. Essa prática é especialmente comum em regiões rurais com alta concentração de cultivo de cana-de-açúcar e outras fontes de resíduos florestais.

Para o RELD em questão, pode-se levar em consideração também o atributo Utilização do Solo. Conforme a ficha técnica da usina a biomassa definida para o estudo de caso, o espaço necessário para sua inserção é de 40 a 50 m², o que pode ser classificado como uma área pequena e que não resultará em conflitos com demais usos ou atividades da indústria.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.4. Dimensão social

A valoração da dimensão social trabalha parâmetros relacionados ao bem-estar da sociedade e do indivíduo, ao lado de fatores socioeconômicos como geração de emprego e desenvolvimento de infraestrutura.

3.4.1. Geração de empregos

A implantação de programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) envolve a formação de equipes com diferentes níveis de capacitação, empregando profissionais em funções de variada complexidade e remuneração. Embora o GLD possa reduzir empregos caso haja um atraso na expansão da geração, transmissão e distribuição de energia, ele também pode impactar positivamente o mercado de trabalho, dependendo das circunstâncias. A venda, manutenção de equipamentos e a oferta de serviços energéticos podem estimular o comércio e o desenvolvimento econômico local, enquanto a fabricação de equipamentos pode gerar empregos em outros lugares, onde são produzidos (BAITELO, 2006).

Para o RELD em questão, pode-se estimar que a inserção da usina de 100 kW, pelo seu tamanho relativamente pequeno e pelo nível de automatização, exigirá uma equipe enxuta para a operação e manutenção da planta, como um engenheiro e um técnico. Além disso, serão empregados alguns funcionários para a cadeia de suprimentos (fornecimento de biomassa). Ao todo, acredita-se que esse número deve variar em torno de 5 a 10 funcionários; logo, o RELD possui um baixo impacto positivo para esse atributo.

3.4.2. Alteração de conforto

O RELD em análise não causa impactos significativos no conforto olfativo. Em termos de alteração de nível sonoro, em geral geradores e equipamentos industriais podem produzir ruídos na faixa de 70 a 100 dB, dependendo de fatores como o design e o isolamento acústico. Ruídos de 100 dB ou mais podem causar desconforto auditivo prolongado e exigem proteção auditiva, mas em unidades consumidoras industriais como a considerada nesse estudo, os trabalhadores já costumam trabalhar com equipamentos de proteção individual, portanto pode-se considerar que não há impacto sonoro significativo. Já o impacto visual/estético pode ser classificado como baixo, uma vez que o equipamento deverá ocupar uma área de cerca de 50 m² da planta industrial e possui altura de 6,0 a 8,9 metros, o que não representa área e altura relevantes para uma unidade consumidora de grande porte com perfil industrial.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.4.3. Influência no desenvolvimento

Uma das características da implantação de uma medida de RELD é o fato de que a economia de energia implica postergação de gastos energéticos. Este efeito pode resultar na transferência de recursos economizados a outros setores econômicos ou sociais. Como demonstrado na valoração da dimensão técnico-econômica, o RELD proporciona ao consumidor duas economias de naturezas distintas. A primeira, de R$ 42.358,68 por ano, decorre da energia que deixa de ser adquirida da distribuidora no horário de ponta, correspondente à parcela de consumo (kWh). A segunda, de R$ 38.280,00 por ano, decorre da redução de 100 kW no contrato de demanda, correspondente à parcela de demanda (kW). Somadas, as duas parcelas representam R$ 80.638,68 por ano.

Considerando que o PIB do estado de São Paulo atingiu R$ 3.444,8 bilhões em 2023 (IBGE, 2025), a economia proporcionada pelo recurso representa variação de 0,0000023% neste valor. Por fim, como demonstrado em Baitelo (2011), sendo a variação do PIB responsável por um terço do cálculo do IDH, a variação positiva do IDH seria de 0,0000008%. Trata-se de uma contribuição marginal, o que é esperado para uma planta de 100 kW avaliada isoladamente. Ainda assim, o sentido do indicador é positivo, e a contribuição cresce proporcionalmente à replicação do recurso na região, cujo potencial de insumo é bastante superior ao demandado por uma única unidade.

3.5. Cômputo e valoração de potenciais completos do RELD

A Tabela 2 sintetiza todos os resultados obtidos no estudo de caso, a fim de obter o CVPC do RELD considerado sob todas as quatro dimensões de análise. Cada atributo é classificado em uma das cinco faixas de escala definidas, sendo elas: Alto Impacto Negativo, Baixo Impacto Negativo, Sem Impacto, Baixo Impacto Positivo e Alto Impacto Positivo.

Tabela 2. CVPC do RELD considerado no estudo de caso

Dimensão Técnico-Econômica			
Potencial Energético Teórico	**Tempo de Implantação**	**Energia Economizada**	**Redução da Demanda na Ponta**
Alto Impacto Positivo	Baixo Impacto Negativo	Alto Impacto Positivo	Alto Impacto Positivo
Dimensão Técnico-Econômica			**Dimensão Política**
Investimento Total	**Custo de O&M**	**Qualidade de Energia**	**Instrumentos Políticos**
Baixo Impacto Negativo	Baixo Impacto Negativo	Sem Impacto	Alto Impacto Positivo

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Dimensão Técnico-Econômica			
Dimensão Política		**Dimensão Ambiental**	
Licenc. Amb. e Autor. de Construção	**En-In**	**Meio Aéreo**	**Meio Aquático**
Baixo Impacto Negativo	Baixo Impacto Positivo	Alto Impacto Negativo	Alto Impacto Positivo
Dimensão Ambiental	**Dimensão Social**		
Meio Terrestre	**Geração de Empregos**	**Alteração de Conforto**	**Influência no Desenvolvimento**
Alto Impacto Positivo	Baixo Impacto Positivo	Baixo Impacto Negativo	Baixo Impacto Positivo

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos mostram que o RELD em análise foi bem avaliado na Dimensão Política, pois possui incentivos políticos e regulatórios para fomentar seu desenvolvimento e aumentar a sua participação na matriz elétrica nacional, ao mesmo tempo que tem boa aceitação por grande parte dos Envolvidos e Interessados. A desvantagem nessa dimensão ocorre em função da necessidade de Licenciamento Ambiental e Autorização de Construção, mas não representa alto impacto negativo porque, em função da modalidade definida, o empreendimento pode obter uma Licença Ambiental Simplificada.

Do ponto de vista da Dimensão Técnico-Econômica, o recurso também foi bem avaliado, principalmente nos atributos Energia Economizada e Redução da Demanda na Ponta, que juntos somam uma economia anual de cerca de 16% do Investimento Total. Esse atributo, por sua vez, assim como o atributo Custo de O&M, resulta em Baixo Impacto Negativo porque o custo elevado do CAPEX e OPEX impossibilita que o RELD seja implementado por grande parte dos consumidores, ficando restrito a grandes indústrias ou comércios. Outra vantagem dessa dimensão de análise é o atributo Potencial Energético Teórico, abundante em Araçatuba, região produtora de cana-de-açúcar.

A maior desvantagem do RELD ocorre na Dimensão Ambiental, especificamente no meio aéreo. O impacto nesse meio foi classificado como Altamente Negativo porque a geração local pela térmica a biomassa emite em média 34 vezes mais GEEs do que o despacho centralizado das usinas do SIN para atendimento da carga. Mesmo assim, o RE consegue mitigar parte desse impacto com os benefícios nos meios Aquático e Terrestre. No meio aquático, destaca-se o uso de água necessário para a utilização do RELD, que pode ser até 100 vezes menor que o utilizado no despacho centralizado. Já no meio terrestre, destaca-se a reutilização de resíduos que seriam

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

descartados como lixo, mas que agora são convertidos em combustível para a geração de energia.

Sob a ótica da Dimensão Social, o recurso também é benéfico, mas em menor grau, pois gera um número pequeno de empregos e contribui muito pouco para o IDH da região. Em contrapartida, pode gerar um pequeno desconforto em função da poluição sonora e visual.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado demonstrou que a cogeração a partir de biomassa, aplicada como recurso energético pelo lado da demanda (RELD), é uma solução viável e estratégica para o setor industrial, especialmente em regiões com grande produção de biomassa, como a Região Administrativa de Araçatuba. A análise das quatro dimensões – técnico-econômica, ambiental, social e política – evidenciou que essa tecnologia pode trazer uma série de benefícios, como a redução dos custos operacionais, a diminuição da demanda de energia em horários de ponta e a postergação de investimentos na expansão da oferta de energia.

No entanto, o estudo também identificou desafios, principalmente relacionados às emissões de gases de efeito estufa, que podem ser significativamente maiores em comparação à geração centralizada, o que reforça a necessidade de políticas e incentivos para a implantação de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) ou de outras formas de compensação ambiental. Do ponto de vista técnico-econômico, a abundância de biomassa na região estudada e a economia financeira associada à utilização de energia gerada localmente em horários de ponta tornam o investimento em cogeração uma opção atrativa para grandes consumidores industriais.

Do ponto de vista político, a cogeração com biomassa já conta com incentivos significativos no Brasil, como leilões específicos para energias renováveis e descontos em tarifas de transmissão e distribuição, o que facilita a adoção dessa tecnologia por empresas e indústrias. Além disso, o apoio social à cogeração, dado seu caráter sustentável, pode impulsionar ainda mais a sua implementação.

Expandindo a análise para um contexto mais amplo, o uso de RELDs, como o sistema de cogeração, demonstra ser uma abordagem promissora para enfrentar os desafios do setor energético no Brasil. A combinação de eficiência energética, redução de impactos ambientais e promoção de um desenvolvimento sustentável reforça a importância de integrar o gerenciamento pelo lado da demanda nos planos de expansão energética do país. Em suma, o Planejamento Integrado de Recursos (PIR) se consolida como uma ferramenta robusta e indispensável para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

garantir uma transição energética eficiente, sustentável e alinhada às metas de descarbonização e desenvolvimento econômico.

Cabe registrar as limitações do estudo. A análise recai sobre uma única planta de 100 kW, o que restringe a generalização dos resultados para o setor industrial como um todo, e a valoração dos atributos apoia-se em escala qualitativa atribuída pelos autores. Trabalhos posteriores podem ampliar a amostra, comparar o RELD analisado com alternativas de gerenciamento da demanda e submeter a valoração a um painel de especialistas.

REFERÊNCIAS

BAITELO, Ricardo Lacerda. **Modelagem completa e análise dos recursos energéticos do lado da demanda para o PIR**. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BAITELO, Ricardo Lacerda. **Modelo de cômputo e valoração de potenciais completos de recursos energéticos para o planejamento integrado de recursos**. 2011. 400 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BRASIL. **Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995**. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 fev. 1995.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 1997.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: 4º levantamento, safra 2025/26. Brasília, DF, v. 13, n. 4, abr. 2026. ISSN 2318-7921.

CPFL ENERGIA. **Tarifas CPFL Paulista**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.cpfl.com.br/empresas/tarifas-cpfl-paulista. Acesso em: 06 set. 2026.

EGGLESTON, H. S. et al. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: volume 2 – energy. Hayama: IGES, 2006.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**: PNE 2050. Brasília, DF, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf. Acesso em: 06 set. 2026.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2035: PDE 2035**. Brasília, DF, 2026a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2035. Acesso em: 08 set. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2026: relatório síntese, ano base 2025**. Rio de Janeiro, 2026b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2026. Acesso em: 09 set. 2026.

GIMENES, André Luiz Veiga. **Modelo de integração de recursos como instrumento para um planejamento energético sustentável**. 2004. 184 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Regionais: Brasil 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html. Acesso em: 07 set. 2026.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Previsões e estimativas das safras agrícolas do estado de São Paulo, ano agrícola 2023/24, junho de 2024. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 19, n. 9, set. 2024. ISSN 1980-0711. Disponível em: https://iea.agricultura.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-26-2024tab.pdf. Acesso em: 10 set. 2026.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2021**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/. Acesso em: 05 set. 2026.

KANAYAMA, Paulo Hélio. **Mecanismos de desenvolvimento limpo no PIR**. 2007. 2 v. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PAN, S.-Y. et al. Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. **Water-Energy Nexus**, v. 1, n. 1, p. 26-41, 2018.

POWERMAX GASIFIERS. **Powermax Biowatt100 compact biomass gasification power generation system**. [S. l.], 2026. Disponível em: https://www.powermaxgasifiers.com/powermax-biowatt500-compact-biomass-gasification-power-generation-system-17107309364167830.html. Acesso em: 07 set. 2026.

RELVA, Stefania Gomes. **Mapeamento energoambiental**: desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao planejamento eletro-energético sustentável no contexto do planejamento integrado de recursos energéticos. 2022. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

RIGOLIN, Pascoal Henrique da Costa. **Desenvolvimento de um sistema para classificar recursos energéticos de oferta e demanda com base no cômputo e na valoração do potencial completo dos recursos energéticos dentro do planejamento integrado de recursos energéticos**. 2013. 144 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SÃO PAULO (Estado). **Resolução SMA nº 51, de 30 de dezembro de 2006**. Estabelece diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 30 dez. 2006.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SCHAEFFER, R. et al. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p. 1-12, fev. 2012.

SILVA, Vinicius Oliveira. **Como inserir recursos energéticos importados no planejamento energético nacional?** Modelo de determinação de recursos energéticos para a integração energética transnacional. 2022. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Planejamento integrado de recursos energéticos (PIR) para o setor elétrico**. 1997. 370 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Novos instrumentos de planejamento energético e o desenvolvimento sustentável**: planejamento integrado de recursos energéticos na USP. 2012. 125 f. Tese (Livre-Docência) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ÚNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Etanol e bioeletricidade**: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo, 2009.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.