

# O POTENCIAL DA COGERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL, SOB A ÓTICA DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG OU GIS)

Liodoro de Mello - mellostopa@yahoo.com.br

Universidade Federal do ABC, UFABC.

**Resumo.** Ao longo dos tempos, a energia vem assumindo uma posição estratégica no desenvolvimento econômico das sociedades, podendo ser considerada um insumo primordial à realização de praticamente todas as ações humanas. Neste contexto, o presente artigo, discute as perspectivas de ampliação do sistema de cogeração no Brasil, utilizando-se o QGIS, ou sistema de informação geográfica (SIG), software livre com código-fonte aberta, multiplataforma, que permitiu a criação de mapas vetoriais, com várias camadas, mostrando diferentes projeções para os dados de potência (kW) instalada, ou capacidade de geração das usinas no país, destinos da energia cogorada, e as fontes de geração. Selecionados junto ao portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estes dados georreferenciados, projetados para um horizonte futuro, foram eficazes, e, os resultados poderão ser úteis como ferramenta de informação geográfica e de planejamento do setor de cogeração.

**Palavras-Chave:** Cogeração, geoprocessamento, energia, economia, planejamento

## 1. INTRODUÇÃO

A cogeração de energia, diante do crescente desenvolvimento industrial, vem se revelando um importante mecanismo de diminuição das emissões de poluentes e seus efeitos nocivos ao ambiente natural. De modo que as atividades industriais movimentam a economia mundial, e, portanto, diminuir a emissão de gases poluentes, não significa reduzir essa atividade produtiva, mesmo que poluidora, mas sim, a cogeração representa um investimento em técnicas de redução dos efeitos nocivos ao meio ambiente, em prol do aumento da eficiência, combinado com as iniciativas de conservação de energia.

### 1.1 Conceito e Tecnologias

De fato, preocupado em maximizar os ganhos energéticos o sistema de cogeração analisa, em forma de balanço, as variáveis elétricas e térmicas, proveniente do processo produtivo, onde o saldo da energia térmica, ou excedente possa ser reaproveitado e transformado em outra forma de energia, como exemplo, em energia elétrica. Assim mitigando o desperdício da energia térmica e o passivo ambiental, em favor da sociedade.

**Conceito.** A cogeração se define, como um meio descentralizado, simultâneo e sequencial de duas ou mais formas de energia, em um processo produtivo, a partir de um único combustível, o que permite a obtenção de rendimentos crescentes a nível: econômico, social, político e ambiental. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa, entre outros. A lógica da cogeração se baseia no princípio da conservação de energia presente na lei da termodinâmica, onde “um sistema não pode criar ou consumir energia, mas apenas armazená-la ou transferi-la ao meio onde se encontra”, WALTER (1994).

### 1.2 A cogeração: Brasil e no Mundo

O sistema de cogeração se baseou na máquina a vapor acoplada ao eixo fixo de um gerador elétrico. Na Europa era utilizado ao longo do século XIX, principalmente, nos países de clima frio, onde a energia térmica representava um bem de primeira necessidade, no sentido de proporcionar conforto à população. Nessa época, não havia produção centralizada de energia elétrica, tão pouco, as grandes centrais geradoras de tecnologia eficiente, sendo que o próprio consumidor cuidava de sua geração. Ainda segundo WALTER (1994), “este sistema com seus inúmeros benefícios teve sua primeira aplicação projetada por Thomas Edison, na estação elétrica Pearl Street Station, dos Estados Unidos, em meados do século XIX”. No Brasil, a Lei nº9074 de 1995 imprimiu mudanças estruturais no setor elétrico, estimulando os investimentos privados, concorrendo com as iniciativas mundiais de incentivo a internacionalização do

capital, à eficiência na produção de energia, e a consequente redução das emissões de poluentes, que fomentou o uso de novas alternativas energéticas, como é o caso da cogeração.

**Tecnologias.** Porém, com o avanço da tecnologia surgiram novos conceitos de geração e de interligação de sistemas elétricos, de forma centralizada que, com o apoio das centrais (hidrelétricas e termelétricas, nucleares, carvão, gás natural e óleo combustível), conseguiram fornecer energia abundante e de baixo custo, concorrendo com o sistema de cogeração que gradualmente perdeu mercado. No entanto, nas últimas décadas as “crises sistêmicas” e de estabilidade do sistema atraiu investimentos para assegurar o abastecimento em quantidade e qualidade compatível com o ritmo do crescimento econômico, renovando os “sistemas de geração distribuída” (GD), o qual inclui a cogeração, onde consumidores finais (indústria, comércio e serviços), utilizaram fontes de energia primária (biomassa e/ou gás natural), administrando suas próprias necessidades energéticas, com fatores de eficiência e custos posicionados de acordo com a visão estratégica de seus negócios. Do ponto de vista técnico o sistema é dividido em dois ciclos e utiliza: motores a combustão (Otto ou Diesel), caldeiras a vapor e de recuperação, turbinas a vapor ou a gás natural, trocadores de calor, geradores elétricos, transformadores e equipamentos elétricos associados, e central geradora.

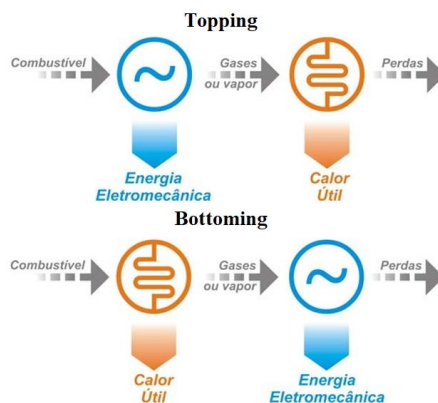


Figura 1 – Ciclo topping, e bottoming, modificado 2019 (de NOGUEIRA et al., 1997).

No primeiro ciclo, denominado “topping”, ou cobertura, (Fig. 1) de acordo com SILVA (2005), os gases de combustão, a uma temperatura mais elevada, são utilizados para geração de eletricidade ou de energia mecânica. O calor rejeitado pelo sistema de geração de potência é utilizado para atender aos requisitos de energia térmica do processo produtivo. CLEMENTINO (2001). Essa configuração consiste basicamente “na produção de energia mecânica por uma máquina térmica, que rejeita calor para um processo industrial”, “com uma turbina a vapor ou a gás, motores a diesel e ou a combinação de turbina a gás com turbina a vapor de ciclo combinado, SILVEIRA (2009)”. A segunda alternativa, ciclo “bottoming” consiste na utilização da energia térmica do processo, e a energia contida nos gases de exaustão usada para a “produção de energia elétrica ou mecânica”, SILVA (2005), promovendo a recuperação direta do calor residual, nocivo para à atmosfera.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De fato essa recuperação do calor residual pode ser utilizada para mover o desenvolvimento econômico, através da “produção de energia elétrica obtida de fontes renováveis ou não, em um sistema de geração transmissão e distribuição, compostos por usinas” SILVA FILHO (2003). Com isso, a cogeração como meio de eficiência energética entra na pauta de discussões, pois “grandes populações onde o controle sobre a poluição é mais rigoroso, o sistema em volumes significativos, não somente se torna viável como proporciona redução de custos e melhora da produção”, CLEMENTINO (2001). Em sintonia, MARCELO CARLOS BARBELI (2015) definiram que “a seleção de tecnologias de cogeração deve obedecer a critérios rigorosos baseados na seleção de opções tecnicamente viáveis considerando alguns aspectos como: a disponibilidade do combustível, os impactos ambientais, a avaliação da eficiência, o custo dos investimentos, a operação e manutenção do sistema, o nível de confiabilidade do sistema elétrico, o custo final do suprimento de energia ao sistema integrado e a relação potência/calor, importante na determinação do tipo de ciclo a ser utilizado”.

Para GOLDEMBERG (2008), COELHO (1992) e MACEDO (2003), as questões tecnológicas da cogeração passam pelos insumos materiais, a otimização do processo produtivo e os custos de geração da eletricidade, como a venda do excedente gerado. Enquanto WALTER (1994) afirma que há três tipos de arranjos usuais quanto ao conjunto de turbinas, todos operando em ciclos a vapor: com turbinas a vapor de contrapressão, contrapressão e condensação, ou sistemas mais avançados que empregam turbinas de extração condensação de controle automático elétrico. LEME

(2005) já discute a “geração eletromecânica e o atendimento das demandas de potência elétrica e mecânica feito por um conjunto de turbinas a vapor, acionadas pelo vapor produzido a partir da queima do bagaço em caldeiras”.

Já (NOGUEIRA e MARTINS, 1997) consideram a “cogeração uma prática de conservação de energia e de racionalidade energética, baseada no princípio de aproveitamento do calor rejeitado em máquinas térmicas”, gerando excedentes de energia, Vale ressaltar de acordo com BALESTIERI (2002), que a “eficiência global da cogeração é obtida pela razão entre todas as formas de energia efetivamente aproveitadas no ciclo, e, o calor gerado na queima do combustível se situando entre 70 e 90%. Finalmente HOLOCK (1997 apud LEME, 2005), afirmam que “o conceito de cogeração vai além do simples aproveitamento de uma corrente com conteúdo térmico útil”. O que se busca é a melhor utilização da energia primária, desde a fase de projeto de uma instalação, exigindo que se leve em consideração tanto a demanda térmica quanto a potência mecânica ao se projetar um sistema”.

### 3. APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

Discutidos os conceitos sobre a cogeração, apresenta-se a metodologia de utilização dos instrumentos do geoprocessamento, que segundo MENEZES (2000), “como informação espacial cumpriram as etapas essenciais: de coleta, armazenamento, tratamento, e, uso”, para projetar o potencial de crescimento da cogeração no Brasil. Ao integrar esses dados de diversas fontes como: IBGE, COGEN, ANEEL, e que mostraram as unidades político-administrativas, onde o sistema se encontra instalado, foi possível analisar o potencial de produção e de ampliação para atender uma demanda de energia elétrica crescente, e, essa entrada de dados da ferramenta (latitude e longitude) dos municípios, de acordo com os códigos, permitiu, também, relacionar a informação, de modo a criar um banco de dados georreferenciados e produzir documentos cartográficos (mapas vetoriais), no que dizem respeito à potência total de cogeração no país, e o potencial a ser cogorado, distribuída em cada município com os lançamentos dos dados, partir de uma planilha Excel.

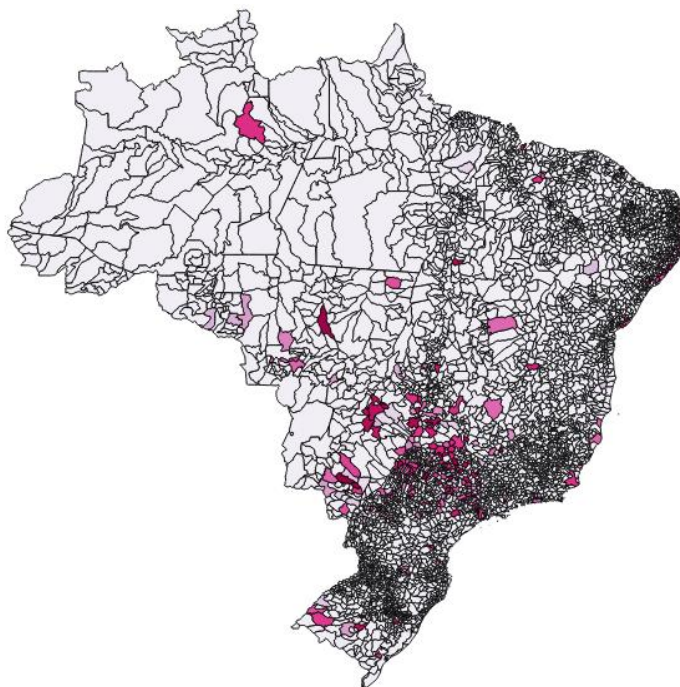


Figura 2. Demonstrativo da capacidade instalada do sistema de cogeração no Brasil, próprio (2019).

Estes dados vetoriais demonstraram um total em operação (geração de energia elétrica) de 7.432 empreendimentos, com 164.121.238 kW de potência instalada no país, sendo que há previsão para os próximos anos de 20.296.831 kW de aumento desta capacidade de geração, ANEEL (2019), “proveniente de 200 projetos em construção e mais 392 não iniciados”, (CONGEN). A Fig. 2, mostra a distribuição da potencia instalada que corresponde a 15,3 milh/kW e a Fig. 3 destaca as principais fontes de geração: bagaço de cana e gás natural, juntos representam 93,28% da geração do país.

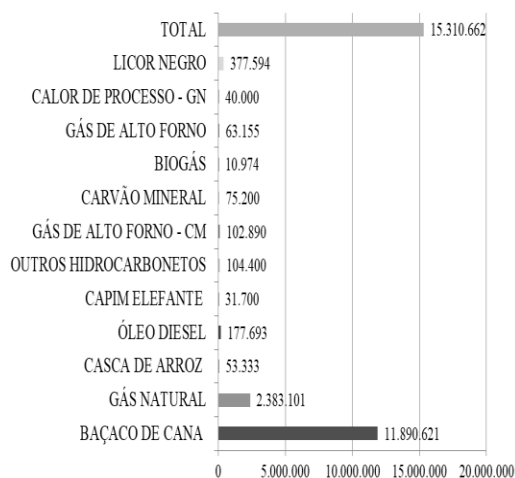


Figura 3. Geração de energia elétrica a partir da cogeração por fonte, próprio 2019.

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através do uso das ferramentas ofertadas pelo software QGIS foi possível identificar a área de interesse do estudo, originando e projetou-se o potencial atual de cogeração no Brasil alinhado as perspectivas futuras de atendimento da demanda de energia elétrica segundo os dados dos projetos em construção e não ainda não iniciados de acordo também, com a capacidade de substituição de suprimento em cada unidade da federação. Levando-se em conta que somente no estado de São Paulo foi identificado pela COGEN um potencial de 3.400 MW para cogeração a gás natural, hoje apenas 7,8% do total contra 89,6% do bagaço da cana de açúcar no Estado, e com rendimentos das plantas que podem “chegar a 87% de eficiência diferentemente das usinas termelétrica cujos rendimentos vão de 40% até próximo dos 60% os resultados indicaram um potencial de referência positivo para cogeração a gás natural no Estado: indústria (25%) e setores de comércio e serviços (75%), compostos por shoppings, hotéis, centros comerciais, hospitais, entre outros”.

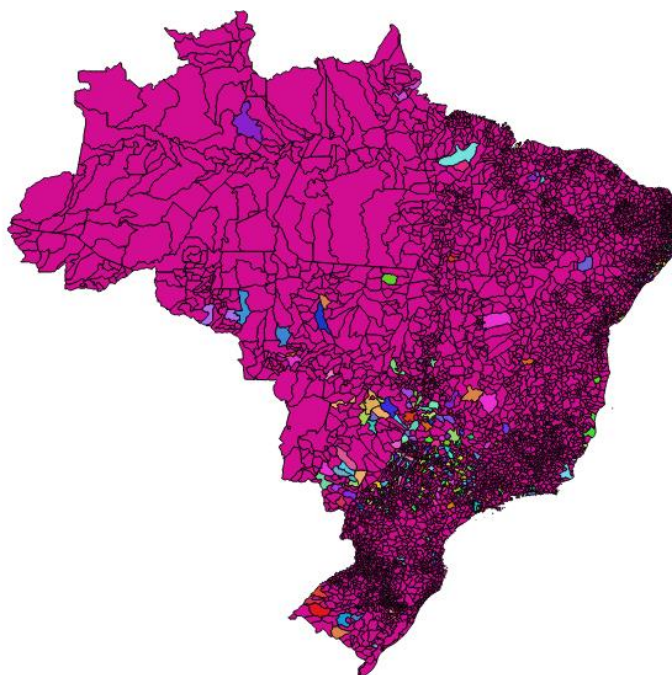


Figura 4. Projeção da capacidade instalada do sistema de cogeração no Brasil, próprio (2019).

Esse potencial estimado (Fig. 4) resultará no aumento em MW, de capacidade instalada, o que permitirá calcular a necessidade de consumo do gás em  $\text{milh}/\text{m}^3/\text{dia}$ , para estes setores, diversificando o modelo de geração hoje baseado nas usinas hidrelétricas e termelétricas, para cogeração e outras fontes: PCHs, eólica e biomassa.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia trouxe resultados em que as fontes primárias: cana de açúcar e gás natural se mostraram variáveis sensíveis e de maior influência no crescimento da cogeração. Acrescenta-se a isso, a relação potencial de cogeração atual dos municípios, versus a capacidade instalada de energia elétrica, ou seja, o quanto se pode crescer com o uso do sistema de cogeração. No que diz respeito à cana de açúcar, o crescimento atual é reflexo do aumento da demanda por etanol (efeito de auto regulação da oferta e demanda) e não, resultado de programas de governo. Para o gás natural, o crescimento é real em função de seu rendimento para o uso em turbinas a gás nos sistema de cogeração, e a razoável abundância a partir das descobertas de grandes jazidas na bacia de Santos.

Por outro lado, apesar do avanço da cogeração, ainda há barreiras do tipo tecnológicas, de ambiente institucional que favoreça o mercado elétrico (maior clareza, simplicidade e atratividade na política de preços para os combustíveis e menos entraves regulatórios), na produção e venda de excedentes de energia elétrica, quanto à volatilidade dos preços, sendo que as externalidades positivas do produto não são incorporadas no preço do MWh, barreiras quanto ao risco de descumprimento dos contratos, usos alternativos para o bagaço e para a palha, falta de liquidez no mercado de crédito de carbono e problemas de eficiência no caso das unidades produtoras de cana de açúcar que não vislumbram a venda da energia excedente e do ponto de vista da política energética. Ressalta-se de maneira conclusiva que há necessidade de profundas alterações na gestão para que as tecnologias relacionadas à geração de energia através da cogeração possam se expandir com impactos positivos na economia como um todo.

## REFERÊNCIAS

- ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica, <http://www.aneel.gov.br>, 04 /19
- BALESTIERE, José Antônio Perrella. Cogeração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis. ed. UFSC, 2002.
- BARBELI Marcelo Carlos, A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v. 4, n. 4, Mar. 2015, p. 238-246.
- CLEMENTINO, L. D. A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica. São Paulo: Érica, 2001.
- COELHO, S. T. Avaliação da cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador/turbina a gás, São Paulo. 1992
- COGEN - Associação Paulista de Cogeração de Energia. [www.cogensp.com.br](http://www.cogensp.com.br), 04/19
- GOLDENBERG, P; GUERRA, F. Inovação na Geração de Energia Elétrica a Partir do Bagaço de Cana. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.
- HORLOCK, J.H., “Cogeneration – Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics”, Florida, USA, Krieger Publishing Company, 1997, 226p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, [www.ibge.gov.br/04](http://www.ibge.gov.br/04) /19.
- LEME, R. M. Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso da água na produção de eletricidade com biomassa da cana-de-açúcar. 2005
- MACEDO, I. C. 2003. “Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia”. CGEE, CTenerg.
- MENEZES, Ricardo A. Amaral, “Estágio Atual da Incineração no Brasil”. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública 3 a 7 de abril 2000, Parque Barigui – Curitiba.
- NOGUEIRA, L.A.H.; MARTINS, A.L.S. Introdução à cogeração. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1997.
- SILVA, C. R. A. et al. A biomassa como alternativa energética para o Brasil. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, SP, n.2, p.25-36, 2005.
- SILVA FILHO, D. Dimensionamento de usinas hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva. 2003, 362 p. USP
- SILVEIRA, J. L. Cogeração. In: Simpósio de Energias Alternativas, II., Anais..., Guaratinguetá, out. 2009.
- WALTER, A.C.S., Viabilidade e Perspectiva da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucro-Alcooleiro, UNICAMP, 1994.

**THE POTENTIAL OF ENERGY COGENERATION IN BRAZIL, FROM THE POINT OF VIEW OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS OR GIS)**

**Abstract.** Over time, energy has been assuming a strategic position in the economic development of societies, and can be considered a primordial input to the accomplishment of practically all human actions. In this context, the present article discusses the prospects for the expansion of the cogeneration system in Brazil, using the QGIS, or geographic information system (GIS), free software with open source, multiplatform, that allowed the creation of maps (kW) data, or generation capacity of the plants in the country, cogenerated energy destinations, and generation sources. Selected from the portal of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Association of the Energy Cogeneration Industry (COGEN) and the National Electric Energy Agency (ANEEL), these georeferenced data, projected for a future horizon, were effective, the results may be useful as geographic information and planning tool for the cogeneration sector.

**Keywords:** Cogeneration, geoprocessing, energy, economics, planning