

## SUSTENTABILIDADE NO PLANEJAMENTO NO FORNECIMENTO DE ENERGIA: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO CONSIDERAÇÃO INICIAL

**Bruno Campos Teixeira de Carvalho (\*), Monica Carvalho**

\* Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária. João Pessoa-PB. CEP 58051-970. Tel +55 83 3216 7186, brunotcarvalho@gmail.com

### RESUMO

Com a crescente demanda mundial de energia causada pelo aumento das populações e do consumo nas últimas décadas, tratar da sustentabilidade do planeta a partir do uso de energias alternativas e renováveis, bem como a inserção de softwares para ajudar na análise de impactos ao meio ambiente, tornaram-se prioridade entre gestores e líderes mundiais e já começam a ser demandados pela sociedade em geral. A sustentabilidade compreende a utilização dos recursos naturais que precisamos para viver hoje, sem comprometer as necessidades futuras das próximas gerações. Ferramentas de análise estão atualmente buscando não somente uma visão financeira a curto prazo, mas sim um estado otimizado que também leve em consideração o ciclo que envolve desde a produção do produto/equipamento, até o descarte final do produto na natureza após seu uso. Com isso, as tomadas de decisões que antes se baseavam exclusivamente em critérios econômicos, passam agora a incluir também os critérios ambientais. Na busca por produtos e processos mais eficientes, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) se mostra como uma metodologia consolidada para cálculo de impactos ambientais. A ACV também é conhecida como Eco-eficiência, EcoBalance ou Análise "do berço ao túmulo", e pode ser aplicada a processos, atividades ou serviços. Embora existam várias opções técnicas para desenvolver sistemas de fornecimento de energia que sejam sustentáveis e "mais verdes", a questão é que a minimização de custos econômicos e de impactos ambientais são geralmente objetivos contraditórios, e o uso de tecnologias "mais verdes" é em geral mais caro. Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo apresentar como os critérios ambientais podem ser inseridos na tomada de decisões sobre o fornecimento de energia, seus elementos intrínsecos, análise da sua eficiência, conteúdos técnicos, usos e limitações, assim como sua aplicação nos contextos de gestão ambiental e da prevenção da poluição.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade, fornecimento de energia, avaliação de ciclo de vida, critério econômico, critério ambiental.

### INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda mundial de energia causada pelo aumento das populações, aumento do consumo, desconsideração com as consequências ambientais da industrialização e do esgotamento de recursos naturais, tivemos nas últimas décadas uma mudança de hábito gradativa referente ao modo do consumismo e sua ênfase com a consciência ambiental. (BRASIL, 2016)

Durante milênios, a energia em forma de biomassa e biomassa fossilizada, por exemplo, foram utilizadas para cozinhar e aquecer, além da criação de materiais que iam do tijolo ao bronze (LOPES, 2011). Apesar desses desenvolvimentos, na verdade a riqueza relativa em todas as civilizações foi fundamentalmente definida pelo acesso e controle da energia, conforme medido pelo número de animais e humanos que serviam às ordens de um indivíduo específico.

Partindo do princípio que atitudes sustentáveis são aquelas ecologicamente corretas, economicamente viáveis, socialmente justas e culturalmente aceitas, é preciso entender que a utilização do recurso energético, para ser tida como sustentável, deve atender a esses requisitos básicos, ou seja, ser utilizada de forma a não causar impactos ambientais, sem deixar de proporcionar conforto e bem-estar ao homem a partir da sua utilização. (PINHEIRO, 2009)

De acordo com Leonardo Boff,

“Sustentável é a sociedade ou o planeta que produz o suficiente para si e para os seres dos ecossistemas onde ela se situa; que toma da natureza somente o que ela pode repor; que mostra um sentido de solidariedade geral, ao preservar para as sociedades futuras os recursos naturais de que elas precisarão. Na prática, a sociedade deve mostrar-se capaz de assumir novos hábitos e de projetar um tipo de desenvolvimento que cultive o cuidado com os equilíbrios ecológicos e funcione dentro dos limites impostos pela natureza. Não significa voltar ao passado, mas oferecer um novo enfoque para o futuro comum. Não se trata simplesmente de não consumir, mas de consumir com responsabilidade.” (BOFF, Leonardo, 1999, p. 137)

Para atingir a sustentabilidade, teremos que enfrentar uma mudança de valores, uma maneira diferente e nova de encarar a natureza (nosso modo de produção e consumo), pois somos totalmente dependentes dos sistemas naturais (DEMANBORO, 2001).

A consideração do meio ambiente como um fator adicional no projeto de sistemas energéticos e equipamentos é uma necessidade importante devido a uma maior consciência e sensibilidade ambiental da sociedade atual, aliada a exigência de reduzir seu impacto ambiental (CARVALHO; SERRA; LOZANO, 2011). Deve-se partir do princípio que é possível elevar o padrão de vida da humanidade, criando desenvolvimento e não necessariamente crescimento, sem destruir o meio ambiente (DALY, 1996). No terceiro milênio o desenvolvimento é sinônimo de qualidade de vida, onde devemos usar os recursos naturais, garantindo sua perpetuação para as gerações futuras.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável foi utilizado pela primeira vez em 1980 no relatório “*World Conservation Strategy*”, publicado pela IUCN. Segundo o relatório, a humanidade deveria reconciliar os imperativos do desenvolvimento com a proteção ambiental, tendo em vista as limitações dos recursos naturais, a capacidade de suporte dos ecossistemas e as necessidades das futuras gerações (IUCN, 1980).

Junto com o desenvolvimento sustentável a questão da sustentabilidade energética passou a ser pauta constante de discussão após as duas crises do petróleo em 1973 e 1979 (CAVALCANTI, 2014), por isso de acordo com Macedo (2015) o interesse pelas energias renováveis surge no mundo como resultado de uma nova concepção de política energética, cujo vetor principal reside tanto na necessidade de diversificar as fontes de suprimento de petróleo como garantir a segurança energética, sobretudo na necessidade de enfrentar as mudanças climáticas.

Sob essa perspectiva, várias organizações internacionais e estudiosos têm proposto conceituações para o que seria a sustentabilidade aplicada ao setor de energia. O Relatório da IEA (2010), *The Energy Technology Perspectives 2010*, por exemplo, define a sustentabilidade energética como um equilíbrio a ser encontrado entre segurança energética, desenvolvimento econômico e proteção ambiental, e demonstra que esses três objetivos caminham de mãos dadas com um futuro de baixo carbono.

Conforme Simas e Pacca (2012) dentre os principais benefícios socioeconômicos trazidos pelas energias renováveis podem ser citados: a inovação tecnológica e o desenvolvimento industrial; a geração distribuída e a universalização do acesso à energia; o desenvolvimento regional e local, especialmente em zonas rurais; e a criação de empregos fatores essenciais para sustentabilidade energética. Por isso se faz necessária a busca por um sistema de mensuração para essa sustentabilidade energética, pois uma das barreiras para avaliar a sustentabilidade é de criar instrumentos de mensuração, como exemplos indicadores do desenvolvimento, sendo estas ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, se associam de diversas formas, revelam significados sobre os fenômenos referentes, tais indicadores são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o monitoramento e avaliação do progresso alcançado em direção ao desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2010).

Como os custos ambientais vêm crescendo sistematicamente em função de exigências legais e sociais, sua identificação, mensuração, evidenciação e gestão passam a ser fator crítico de sucesso das empresas. Uma das ferramentas atualmente indicadas para entender o efeito financeiro e ambiental sobre produtos e serviços é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta avaliação visa identificar todos custos e benefícios internos e externos associados com o produto ou atividade, através dos estágios de sua vida, servindo como ferramenta para alcançar a sustentabilidade. (FENKER, 2012)

Esse trabalho tem como objetivo apresentar como os critérios ambientais podem ser inseridos na tomada de decisões sobre o fornecimento de energia, seus elementos intrínsecos, análise da sua eficiência, conteúdos técnicos, usos e limitações, assim como sua aplicação nos contextos de gestão ambiental e da prevenção da poluição.

Será estabelecido também um método para implementação de uma função objetivo multicritério, que relacione simultaneamente os custos econômicos totais e as emissões em determinados intervalos de tempo e também discutir a relação da sustentabilidade no fornecimento de energia, por meio de uma análise comparada entre um planejamento tradicional e sustentável.

## **METODOLOGIA**

### **Planejamento Tradicional do Fornecimento de Energia Elétrica**

A eletricidade é produzida por meio da transformação de recursos naturais renováveis, como a energia solar direta, a energia eólica e a hidráulica e de recursos não-renováveis como, por exemplo, os combustíveis fósseis. No Brasil, devido ao enorme potencial hídrico, a nossa matriz energética utiliza, em escala maior, a energia hidráulica (BRASIL, 2016). Entretanto, as usinas hidrelétricas, apesar de serem consideradas mais limpas e baratas, ao serem construídas, podem provocar alterações climáticas e impactos ambientais, pois provocam a inundação de grandes áreas, comprometendo a fauna e flora da região, além de afetarem adversamente muitos aspectos da vida dos seres humanos (PINHEIRO, 2009)

Todos os sistemas elétricos são compostos pela geração, transmissão e distribuição. Na geração, a energia elétrica é produzida pelo aproveitamento de recursos naturais (água, gás natural, carvão, etc.). No caso da geração hidrelétrica, uma usina faz com que a energia potencial e cinética da água se transforme em eletricidade. A transmissão é realizada por uma rede de cabos de alta tensão suportados por torres. No fim, a conexão e atendimento ao consumidor, qualquer que seja seu porte, são realizados pelas distribuidoras.

Etimologicamente a palavra planejamento significa ato ou efeito de planejar, programar planos e ações. Pode-se, também, significar um conjunto de atitudes, procedimentos com o objetivo de realizar um determinado projeto. Assim, o ato de planejar significa fazer escolhas que subsidiam o ser humano no encaminhamento de suas ações e no alcance de resultados almejados, e, dessa forma, orienta um fim com um referencial futuro (SILVA et al., 2014)

No que tange a estrutura do setor elétrico brasileiro, PIREs (2001) ressalta que ao longo dos últimos 40 anos, a estrutura do sistema elétrico no Brasil passa de uma perspectiva regional com usinas de médio porte situadas próximas aos centros de carga associadas a linhas de transmissão, dispostas em troncos radiais, para configurações mais complexas, constituídas por vastas malhas regionais com o objetivo de integrar grandes hidrelétricas construídas em bacias mais distantes dos centros de consumo. Esse tipo de estrutura fez com que o processo de planejamento do setor elétrico nacional, viesse a sofrer algumas sensíveis adaptações ao longo das últimas décadas. (GONÇALVES, 2008)

Os aspectos socioambientais se configuram como fatores de risco e incertezas para a implantação dos empreendimentos do setor elétrico. O tratamento adequado das questões socioambientais em horizontes compatíveis, buscando identificar esses fatores, aponta para a necessidade de definição de métodos e critérios que possibilitem a integração da dimensão ambiental de modo efetivo e sistemático desde as primeiras etapas do processo de planejamento destes empreendimentos. (BONATTO et al., 2005)

Reis e Silveira (2000) ressaltam que, denomina-se de planejamento tradicional (determinativo) o tipo de planejamento do setor elétrico efetuado no contexto anterior às modificações processuais e institucionais ocorridas nos anos 2000, caracterizadas pela coordenação do Estado, cujo foco envolvia a ordenação e distribuição de obras de infraestrutura ao longo de um determinado tempo. Esse tipo de planejamento do setor elétrico tinha como objetivo básico, o estabelecimento de uma política de desenvolvimento que deveria satisfazer a um duplo requisito de confiabilidade e baixo custo.

O atual modelo de planejamento do setor elétrico no Brasil foi estabelecido em 2004 e possui como principal instrumento de expansão a oferta e a realização de leilões. O objetivo principal dos leilões é garantir que a oferta se amplie de forma a atender ao crescimento da demanda com o menor custo de geração possível, em linha com a precisão de garantir a modicidade tarifária, um dos pilares do marco regulatório do setor elétrico brasileiro. Assim, esse modelo baseia-se em quatro parâmetros (JANNUZZI, 1997): Projeção do crescimento da demanda; Planejamento da expansão para determinar as fontes existentes e quando elas serão necessárias; Análise do custo produção para hierarquizar as opções de energia; Cálculo das tarifas e arrecadação necessária com as vendas de eletricidade.

O planejamento energético adotado pela administração federal mostra que os preceitos da linha tradicional continuam sendo seguidos. O Plano Decenal de Expansão da Energia, produzido pelo Ministério de Minas e Energia, é um dos exemplos de planejamento norteado por metodologias de desenvolvimento tradicional. O documento, que traça as metas energéticas para o setor no período 2010-2019, prevê, em sua última versão, a expansão de termelétricas a combustíveis fósseis e o aumento de praticamente 100% das emissões do setor elétrico nesse período. Ainda que o plano preveja a expansão de fontes renováveis como biomassa e eólica, os resultados contradizem as propostas de redução de gases de efeito estufa contidas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas e as mais recentes metas de redução de emissões de gases de efeito estufa - entre 36 e 38% - levadas à Conferência das Partes 15, em Copenhague. (BAITELO, 2011)

A meta principal do planejamento tradicional de energia é satisfazer a demanda projetada pelo menor preço de fornecimento, desconsiderando outros fatores sociais ou sustentáveis, a grosso modo.

## Planejamento Sustentável do Fornecimento de Energia Elétrica e Informação Ambiental

Tradicionalmente as tomadas de decisão baseiam-se em critérios econômicos, mas com a crescente consciência ambiental e demandas por redução de emissões, critérios ambientais pouco a pouco passam a ser variáveis de decisão.

O grande desafio que se apresenta é o desenvolvimento de sistemas que reúnam a um só tempo as características de serem economicamente competitivos, ambientalmente amigáveis e socialmente aceitáveis, ou seja, a busca pelo alinhamento do setor energético com os requisitos do desenvolvimento sustentável (HUGÉ et al., 2011).

O fortalecimento da dimensão ambiental com o agravamento do problema das mudanças climáticas e o aumento das preocupações sociais refletiu sobre o planejamento energético dando origem ao conceito de Planejamento Integrado de Recursos – PIR. O PIR passou a ser aplicado nos setores elétrico e de gás canalizado a partir de meados de 80 em alguns países como EUA, Canadá e Dinamarca. A associação do PIR com o desenvolvimento ambiental é bastante conhecida conforme apontado por D'SA (2005). Uma de suas propostas originais é a de incluir os custos de proteção ambiental bem como os riscos à saúde associados à produção e uso de energia no processo de planejamento. A inclusão

dos custos atuais (custos de controle de poluição) ou valores aproximados (como sobretaxas sobre impactos negativos) na comparação dos custos resulta em opções mais claras, relativamente mais baratas e, portanto, mais atrativas no escalonamento de mínimo custo.

Uma maneira também bastante utilizada em qualquer projeto que considere critérios de sustentabilidade deve considerar, simultaneamente, o aumento da eficiência energética e a redução de cargas ambientais e, um dos meios de realização desta metodologia, é através da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é uma metodologia para cálculo dos impactos ambientais associados a um produto, processo ou serviço (GUINÉE, 2001; GUINÉE, 2002). Segundo Russell et al. (2005), o conceito de ACV foi desenvolvido a partir da ideia de compreender os impactos ambientais globais de produtos, que foi concebido na Europa e nos EUA no final de 1960 e início de 1970. A ACV é uma metodologia consolidada que tem como objetivo identificar pontos de melhoria de um dado processo, produto ou atividade econômica em todas as etapas de seu ciclo de vida (SETAC, 1993).

Com a ACV, é possível verificar não apenas a prevenção da poluição em si, mas uma sistemática confiável que possa ajudar no processo decisório, a fim de gerar o menor impacto ambiental possível, e inclusive comparar outros métodos na mesma análise (HINZ et al., 2006).

No Brasil, apesar da ACV tratar-se ainda de uma metodologia relativamente recente e pouco conhecida no âmbito gerencial (sendo mais difundida no meio acadêmico), sua utilização na análise e nos critérios de decisão deverá seguir a tendência global. (DELGADO, 2015)

Existem diversas maneiras de quantificar os impactos ambientais de determinado produto ou processo, porém a metodologia da ACV tem sido amplamente adotada no meio empresarial e científico, sendo conhecida na literatura especializada por *Life Cycle Assessment* (LCA), geralmente vinculada à expressão *cradle-to-grave approach* (abordagem do berço ao túmulo), para reforçar a intenção de uma abordagem completa do processo produtivo. Esta metodologia de gestão ambiental possibilita monitorar a cadeia de produção de um produto desde a extração da matéria-prima até o uso final, incluindo etapas de reuso, reciclagem e destinação final de resíduos (FERNANDES, 2009).

## Planejamento Sustentável Avançado

O processo de tomada de decisão baseado nos resultados da ACV envolve, além dos aspectos e impactos ambientais, outros critérios importantes para um processo decisório. Neste sentido, este estudo objetivou desenvolver uma abordagem multicritério para apoio à decisão baseado em ACV e indicadores ambientais. Considerando que o resultado da análise de um problema multiobjetivo é um conjunto de soluções não comparáveis entre si, faz-se necessária a utilização de critérios para a opção por uma única solução final, que represente a relação de compromisso ideal entre os objetivos conflitantes do problema (SCOLA, 2014).

Os métodos de apoio à tomada de decisão têm como finalidade ajudar os decisores na estruturação e na resolução de problemas de decisão e de planejamento que envolvem múltiplos critérios, tendo em vista melhorar a qualidade da decisão e tornar as escolhas mais explícitas, racionais e eficientes (PIRES et al., 2012).

A otimização de um sistema de fornecimento e conversão de energia implica em buscar uma solução que satisfaça uma função objetivo (custo, impactos ambientais, eficiência termodinâmica, etc.), a ser minimizada ou maximizada. Métodos puramente econômicos para a tomada de decisão vem, pouco a pouco, sendo questionados pela necessidade de se considerar outros pontos de vista. O Brasil não possui compromisso mandatário de redução de emissões, então hoje em dia possivelmente a maioria das tomadas de decisão se baseie somente em critérios econômicos ou em casos mais complexos, critérios termodinâmicos ou de eficiência energética. Porém, é esperado que, como já acontece na União Européia (CARVALHO et al, 2016), existam obrigações a serem cumpridas também no que concerne às emissões. Provavelmente, um sistema energético que obtenha mínimo custo anual seja bastante diferente do sistema que obtenha mínimas emissões. (CARVALHO et al, 2016)

Ao estudar um problema real em engenharia, é natural o engenheiro se deparar com muitas variáveis de projeto, várias restrições tecnológicas e/ou econômicas e, na maioria das vezes, com múltiplos objetivos. Deve ser salientado que a extensão do conceito de ótimo para o caso multiobjetivo não é trivial e, ao contrário do caso mono-objetivo, onde há apenas um ótimo global, em problemas multiobjetivo há uma curva solução, denominada Curva de Pareto (Figura 1), formada pelas soluções não dominadas ou não inferiores do problema (MOREIRA, 2015)

Uma solução pertence ao conjunto de Pareto se não houver outra solução que possa melhorar, pelo menos, um dos objetivos sem degradação de qualquer outro objetivo (CARVALHO, 2011).

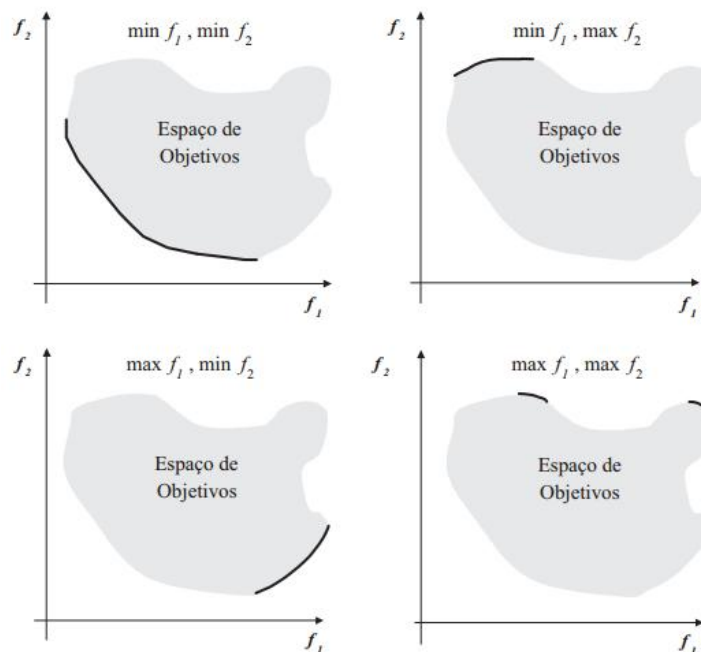


Figura 1: Curva de Pareto para problemas com dois objetivos. Adaptado de (DEB, 2001.)

Em modelos multiobjetivo, o conceito de solução ótima adotado em problemas mono-objetivo dá lugar ao conceito de soluções não dominadas, ou seja, soluções viáveis para as quais não é possível incorporar nenhuma melhoria em qualquer objetivo sem que se sacrifique pelo menos um dos demais objetivos. O conceito de solução não dominada recebe também outras denominações como ótimo de Pareto, solução não inferior e solução eficiente (COELLO et al., 2002 apud MEZA, 2006).

A combinação da análise termoeconômica e da ACV no corpo do modelo de otimização permite que ambas perspectivas, econômica e ambiental, sejam consideradas nos cálculos de fluxos. A consideração de uma função multiobjetivo permite que ambos pontos de vista sejam considerados simultaneamente, o que é especialmente interessante no caso de soluções divergentes individualmente.

Há diversos métodos para resolver problemas envolvendo mais de um objetivo. Cada um deles possui características e aplicações diferentes. A escolha de um método para resolver um problema de otimização multiobjetivo (POM) deve ser realizada com cuidado, pois não existe um método melhor que todos os outros. Há de se analisar a intenção inicial do analista e do tomador de decisão no processo. Algumas vezes, é necessário encontrar a fronteira eficiente com exatidão, em outros casos, uma aproximação já basta.

O tipo de análise que contempla a verificação da quantidade de tomadores de decisão no processo e as características peculiares do problema a ser tratado pode ser visto como uma análise de contexto do processo de tomada de decisão. Essa análise de contexto é uma das características que servem para classificar os tipos de métodos existentes para resolução de um POM.

O método da  $\square$ -Restrição é um dos mais utilizados (SAMPAIO, 2011). Ele consiste em minimizar um único objetivo enquanto os outros são incorporados ao conjunto de restrições do problema, sendo restringidos pelos valores das componentes de um vetor  $\square \in \square^{P-1}$ , fornecido a priori. Esta abordagem de otimizar uma função objetivo enquanto outras são incorporadas às restrições parece ter sido, inicialmente, sugerida em (Marglin, 1967). Posteriormente, Haimes et al. apresentaram uma nova formulação para um problema envolvendo duas funções objetivo (Haimes et al., 1971) O método da  $\square$ -Restrição é um método de geração que visa obter uma aproximação da fronteira eficiente do problema.

A vantagem do método da  $\square$ -Restrição reside no controle de cobertura da fronteira eficiente. Entretanto, o esse método apresenta a mesma desvantagem de outro bastante conhecido, método dos pesos: ter que resolver um problema de Programação Não-Linear sempre que quiser encontrar uma nova solução eficiente. A segunda desvantagem é inerente à escolha do vetor  $\square$ . Se tal vetor for escolhido de maneira inadequada, os problemas escalarizados a serem resolvidos podem ser inviáveis. A escolha do vetor  $\square$ , por sua vez, não é uma questão trivial e sua dificuldade aumenta à medida que cresce o número de funções objetivo que se deseja otimizar. (SAMPAIO, 2011)

## CONCLUSÃO

O uso das técnicas de otimização multi-objetivo ajudam a ampliar a perspectiva das análises tradicionais de um só objetivo, especialmente em sistemas energéticos, e também proporcionam o espectro completo de soluções que otimizem o sistema de acordo com mais de um objetivo. Como na maioria dos problemas práticos, objetivos múltiplos competem entre si, e uma solução única que satisfaça a todos os objetivos geralmente não pode ser identificada.

A proposta deste trabalho foi contribuir ao debate sobre otimização multicritério, na forma de um problema de programação com dois critérios (ambiental e econômico). Apenas após criteriosa análise dos resultados e *trade-offs* (conflitos de escolha) pode-se proceder a escolha de uma determinada configuração e estratégia operacional para um sistema de fornecimento de energia. Reduções significativas nos impactos ambientais podem ser alcançadas se o desempenho econômico for um pouco sacrificado.

Este artigo é parte de um projeto mais amplo, que inclui a dissertação de mestrado intitulada *Otimização Multiobjetivo de Um Sistema de Fornecimento e Conversão de Energia com Aporte de Energia Solar: Estudo de Caso em um Hospital Paraibano*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (projetos nº 475879/2013-9, 303199/2015-6).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAITELO, Ricardo L. **Modelo de cômputo e valoração completa de potencias de recursos energéticos para o planejamento integrado de recursos**/ R.L. Baitelo. -- ed.rev. -- São Paulo, 2011
2. BOFF, L. **Saber Cuidar: ética do humano – compaixão pela terra**. Petrópolis, RJ: Ed. Vozes, 1999.
3. BONATTO, Fábio, et al. **Metodologia para a incorporação da dimensão socioambiental ao planejamento da transmissão de energia elétrica**. Rio de Janeiro, RJ. 2005
4. BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Mudança de Hábito**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8767-mudan%C3%A7a-de-h%C3%A1bito>>. Acesso, 19 set 2016.
5. CARVALHO, M; SERRA, L. M. ; LOZANO, M. A. . **Optimal synthesis of trigeneration systems subject to environmental constraints**. *Energy* (Oxford), v. 36, p. 3779-3790, 2011. [Em inglês]
6. DEB, K. **Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms**. First Edition . New York, 2001 [Em inglês]
7. DELGADO, D. B. M. **Otimização econômica e ambiental de um sistema de poligeração incluindo energia solar fotovoltaica e biomassa: estudo de caso em um hospital paraibano**. João Pessoa, 2015.
8. D'SA, A (2005). **Integrated resource planning (IRP) and power sector reform in developing countries**. *Energy Policy* 33. p.1271-1285 [Em inglês]
9. GUINÉE, J. B. (ed). **Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide**. Leiden, Holanda: Centre for Environmental Science, Leiden University, 2001. [Em inglês]
10. JANNUZZI, G. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis**. Campinas, 1997
11. LOPES, L. F. R. **A Importância da Energia Renovável Para o Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, 2011
12. MEZA, J. L. C. **Multicriteria analysis of power generation expansion planning**. Tese D.Sc. Wichita State University, Wichita, Kansas, EUA, 2006.
13. PINHEIRO, A. P. Z. **Energia e Sustentabilidade**. CECIMIG - Uberada, 2009
14. SAMPAIO, P. R. **Teoria, métodos e aplicações de otimização multiobjetivo**. USP – São Paulo, 2011.
15. SCOLA, Luis Antônio. **Otimização multiobjetivo evolutiva da operação de sistemas de reservatórios multiusos** [manuscrito] / Belo Horizonte: 2014