# Análise teórica de estudos científicos de avaliação de ciclo de vida relacionado com sistemas de produção e distribuição de energia elétrica

Murillo Vetroni Barros (UTFPR) murillo.vetroni@gmail.com
Cassiano Moro Piekarski (UTFPR) piekarski@utfpr.edu.br

**Resumo:**
A matriz energética é o conjunto dos mais variados tipos de energia que se pode produzir e consumir. No Brasil e no mundo existem várias formas de obtenção de energia elétrica, tais como: hidrelétrica, eólica, nuclear, solar, térmica, derivados de petróleo, carvão mineral e outros tipos provenientes do avanço tecnológico.
Deste modo, surge a necessidade de avaliar o desempenho ambiental de diferentes matrizes energéticas para produção de energia elétrica utilizando Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A ACV, constituindo-se constitui em uma metodologia utilizada na avaliação de aspectos e potenciais impactos ambientais que estão relacionados com o produto ou processo, além de compreender e quantificar as entradas e saídas em todo seu ciclo de vida, desde da extração da matéria prima até a disposição final.
Contemporaneamente, o Brasil ainda apresenta um baixo número de pesquisa sobre Avaliação de Ciclo de Vida comparado a países Europeus, por exemplo. Institutos universitários e empresas com valores de sustentabilidade em seus negócios são as quais mais elaboram trabalho nessa área no país, visto que, é um assunto relativamente novo, de grande importância ambiental, econômico e alvo de pesquisas.
A busca por conhecimentos sobre quais os potenciais impactos de cada fonte que compõe diferentes matrizes de energia elétrica motiva desenvolver pesquisas científicas sobre assunto. Neste contexto, o objetivo deste artigo é analisar teoricamente estudos científicos já publicados de avaliação de ciclo de vida relacionados com sistemas de geração e distribuição de energia elétrica no mundo.
**Palavras chave**: Desempenho ambiental, Matriz Energética, Brasil, Energia Elétrica.

# Theoretical analysis of scientific studies life cycle assessment related to production systems and distribution of electricity

**Abstract**
The energy matrix is the set of all kinds of energy that can produce and consume. In Brazil and in the world there are several ways of obtaining electricity such as hydroelectric, wind, nuclear, solar, thermal, oil, coal and other types from the technological advancement.
Thus arises the need to assess the environmental performance of different energy mix for electricity production using Life Cycle Assessment (LCA). LCA constituting constitutes a methodology used to evaluate aspects and potential environmental impacts that are related to the product or process and to understand and quantify the inputs and outputs throughout their life cycle from the extraction of raw materials to final disposal.
Contemporaneously Brazil still has a low number of research on Life Cycle Assessment compared to European countries for example. University institutes and companies with values of sustainability in their business are which more elaborate work in this area in the country since it is a relatively new subject of great environmental, economic and research target.
The search for knowledge about what the potential impacts of each source that makes up different arrays of electricity motivates develop scientific research on the subject. In this context, the aim of this article is to analyze theoretically scientific studies already published evaluation of life cycle related generation systems and distribution of electricity in the world.
**Key-words:** Environmental Performance, Energy Matrix, Brazil, Electricity.

## 1. Introdução

A energia elétrica desde a sua criação, disponibilidade e aprimoramento tornou-se um recurso de sobrevivência e desenvolvimento para a humanidade, visto que, é demandada desde um simples item doméstico até em grandes produções.

A matriz energética é o conjunto dos mais variados tipos de energia que se pode produzir e consumir. No Brasil, existem várias modalidades de obtenção de energia elétrica, tais como, hidrelétrica, eólica, nuclear, solar, térmica, biomassa, derivados de petróleo, carvão mineral, gás natural e outras. A energia elétrica que chega aos domicílios, empresas e organizações, na sua grande maioria, vem de fontes mistas. No Brasil, a maior parte da energia vem de hidroelétrica, com 64% em 2015, entretanto, outras fontes de energia são não-renováveis, cuja matéria prima pode-se esgotar num certo momento, como gás natural, derivados de petróleo e carvão mineral, por exemplo. As energias renováveis estão, ultimamente, ganhando mais espaço no mercado, proporcionando energia limpa à população por meio de novos desenvolvimentos tecnológicos.

A busca por conhecimentos sobre quais os potenciais impactos de cada fonte que compõe a matriz de energia elétrica brasileira motiva desenvolver pesquisas científicas sobre assunto. Desta forma, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia utilizada na avaliação de aspectos e potenciais impactos ambientais que estão relacionados com produto ou processos. Ao se referir à avaliação de impactos ambientais e de saúde humana, a ACV tem ganhado uma atenção notável perante todas as diversas ferramentas existentes (WANG, CHAN e LI, 2015). A ACV pode ser caracterizada como a metodologia mais importante na gestão ambiental industrial moderna (LÖFGREN, TILLMAN E RINDE, 2011).

Neste âmbito, a ACV é uma metodologia utilizada, principalmente, por universidades e institutos de pesquisa, porém é uma fonte de oportunidades de negócios que vem crescendo tanto na área de prestação de serviços, quanto na indústria. No Brasil, apesar da metodologia ser incipiente quando comparada com países europeus, a comunidade de ACV é representada por 27 grupos e/ou laboratórios de pesquisa, 18 empresas de consultoria e 64 empresas/indústrias que utilizam a ACV como prática corrente de gestão ambiental (CHERUBINI; RIBEIRO, 2015).

Ainda no Brasil, a disseminação do pensamento do ciclo de vida vem acontecendo, também, através de políticas e ações de entidades governamentais. Entre elas, Cherubini e Ribeiro (2015) destacam: a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que estabelece o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o Guia de Compras Públicas Sustentáveis na esfera Federal, que sugere o uso de rotulagens baseadas em estudos de ACV como comprovação da sustentabilidade em processos de produtos e serviços; e, o Programa Brasileiro em Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), desenvolvido e incentivado pela Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), pelo Ibict e pelo Inmetro. A ACV apresenta duas normas na família ISO 14000, a primeira é a 14040 (ABNT, 2009a) que se trata de princípios e estrutura. Já a 14044 (ABNT, 2009b) aborda requisitos e diretrizes.

Nesse sentido, evidencia-se a oportunidade de elaborar trabalhos levando em conta as fontes energéticas, as políticas públicas e a metodologia ACV. O uso da ACV, neste, contexto é para poder compreender, quantificar e analisar a matriz de energia elétrica quanto ao desempenho ambiental. Neste contexto, o objetivo deste artigo é analisar teoricamente estudos científicos publicados em periódicos de alto impacto, de avaliação de ciclo de vida de sistemas de energia elétrica.

## 2. Metodologia

Quanto a atividade de construção de referencial sistematizado do tema, foram buscados nos principais periódicos artigos científicos de alto impacto (JCR>3) que compreendesse o tema de ACV juntamente com a produção de energia elétrica nos mais diversos países. Para em seguida, poder identificar os principais métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) utilizado pelos autores nos artigos. Verificando a localidade de publicação, a Universidade, o ano e um breve objetivo de cada trabalho.

Como resultados finais, serão interpretados os resultados para compreender as influências dos impactos de acordo com a composição da matriz elétrica nacional. Os resultados poderão ser utilizados para direcionamento de políticas públicas, promoções de ações de desenvolvimento e incentivos de diferentes matrizes energéticas.

Os artigos levantados foram provenientes de pesquisas em bases de dados internacionais, como Scielo, Scopus, Science Direct, Web of Science. Foram utilizadas buscas das seguintes palavras-chaves: "*LCA + Electricity mixes*"; "*LCA + Electric Energy*"; "*LCA + electricity mix*"; "*Life Cycle Assessment + energy production*"; etc.

Nos trabalhos pesquisados, foram escolhidos os de publicações mais recentes, a partir de 2013, conseguindo dados e informações mais próximas da atualidade.

## 3. Apresentação e Analise dos Resultados

Inicialmente, são demonstrados os resultados alcançados com a construção do referencial teórico sistematizado. Os artigos levantados foram publicados em periódicos internacionais que realizaram estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) / Life Cycle Assessment (LCA) na área de matriz de energias elétricas (Electric Energy).

Os artigos encontrados referentes à ACV, com a abordagem da matriz energética estão descritos no Quadro 1, observa-se que os títulos em língua estrangeira foram mantidos. A numeração dos artigos estão descritos para o acompanhamento no Quadro 2 e no resumo referente a cada um.

| Id | Título dos artigos | Referência |
|---|---|---|
| 1 | Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe | Peter Berrill et al |
| 2 | Life cycle modeling of energy matrix scenarios, Belgian power and partial heat mixes as case study | M.A. Rubio Rodríguez et al |
| 3 | Life-cycle assessment of electricity in Portugal | Rita Garcia et al |
| 4 | A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the UK | Marco Raugei; Enrica Leccisi |
| 5 | Life cycle assessment of energy generation in Poland | Lukasz Lelek et al |
| 6 | Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais | Camila Daniele Willers et al |
| 7 | Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet | Ernani Francisco Choma et al |
| 8 | Human health impacts in the life cycle of future European electricity generation | Karin Treyer et al |
| 9 | Carbon footprint scenarios for renewable electricity in Australia | Paul Wolfram et al |
| 10 | Environmental and economic analysis of residual woody biomass transport for energetic use in Chile | Edmundo Muñoz et al |
| 11 | Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts | Burcin Atilgan et al |

| | | |
|---|---|---|
| 12 | Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius | Ravina Brizmohun et al |

Fonte: Organizado pelo autor

Quadro 1– Identificação, título e referência dos artigos pesquisados

Destaca-se que entre os principais artigos buscados na temática abordada, nã há significativa incidência de desenvolvimentos de ACV para estudos da composição da matriz elétrica nacional. Já em países da Europa, a ACV está presente há mais tempo, existindo mais pesquisas, pesquisadores e trabalhos nessa área. Ainda assim, o Brasil vem ganhando espaço e crescendo o número de trabalhos sobre ACV.

No Quadro 2, estão subdivididas algumas informações relevantes sobre cada artigo abordado.

| Id | Autor | Pais | Universidade | Métodos/ categorias AICV | Mês/Ano | Local da busca | Nome do Periódico | Fator de Impacto |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Peter Berrill et al | Noruega | Norwegian University of Science and Technology | ReCipe | jan/16 | Scopus | Environmental Research Letters | 4.196 |
| 2 | M.A. Rubio Rodríguez et Al | Bélgica | Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas | Life cycle inventories (LCIs), global warming potential (GWP), ecological foot print (EFP), Ecoindicator99 and cumulative exergy demand (CExD) | mar/13 | Science Direct | Applied Energy | 5.746 |
| 3 | Rita Garcia et al | Portugal | University of Coimbra | CED, global warming (GW), IPCC 2007, abiotic depletion (AD), acidification (AC), eutrophication (ET), photochemical oxidation (PO), ozone layer depletion (OD), CML 2 | dez/14 | Science Direct | Applied Energy | 5.746 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | v2.05 | | | | |
| 4 | Marco Raugei; Enrica Leccisi | Inglaterra | Oxford Brookes University | NEA | dez/15 | Science Direct | Energy Policy | 3.045 |
| 5 | Lukasz Lelek at al | Polônia | University of Science and Technology, Mickiewicza | Impact 2002+ | jan/16 | Scopus | The International Journal of LCA | 3.998 |
| 6 | Camila Daniele Willers at al | Brasil | Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia | Não Há | jun/13 | Scielo | Production Engineering | 3.050 |
| 7 | Ernani Francisco Choma at al | Brasil | Universidade Tecnológica Federal do Paraná | CML 2000 v.2.05 | jul/15 | Science Direct | Cleaner Production | 4.959 |
| 8 | Karin Treyer at al | Suíça | Lab. de Análise de Sistemas de Energia, P. Scherrer Institute | ReCipe | mai/14 | Scopus | Energy Policy | 3.045 |
| 9 | Paul Wolfram at al | Alemanha | Berlin Institute of Technology | IPCC's 2007, global warming potential over 100 years (GWP 100), unit-based CO2-equivalent (CO2e) | fev/16 | Scopus | Cleaner Production | 4.959 |
| 10 | Edmundo Muñoz at al | Chile | Universidad de La Frontera | ReCipe | abr/15 | Scopus | The International Journal of LCA | 3.998 |
| 11 | Burcin Atilgan at al | Inglaterra | University of Manchester | CML 2001 | dez/15 | Science Direct | Renewable Energy | 3.404 |
| 12 | Ravina Brizmohun at al | Maurícia | University of Mauritius | CML 2 Baseline 2001 | nov/14 | Science Direct | Cleaner Production | 4.959 |

Fonte: Organizado pelo autor

Quadro 2 – Informações sobre os artigos

No Quadro 2, a identificação 6 não apresenta o método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV), pois é um artigo de caráter explicativo, e desta forma, não foi utilizado o método AICV. Os trabalhos internacionais, como por exemplo, os Europeus (Inglaterra, Polônia, Suíça, Noruega) apresentam o método de avaliação como ReCipe, CML, Impact 2002+, Eco-indicator99, IPCC, GWP e outros.

No Quadro 3 estão listados um breve resumo de cada artigo, pretendendo conhecer e identificar o que cada trabalho desejou realizar.

| |
|---|
| 1 - O objetivo é implementar saídas de um modelo detalhado de otimização do sistema de alimentação a uma estrutura de análise do ciclo de vida em potencial, a fim de apresentar uma ACV de 44 cenários de eletricidade para a Europa em 2050. |
| 2 - A abordagem de modelagem proposto é testado pela modelagem matriz energética da Bélgica usando informação e otimização de cenários de ACV de acordo com três indicadores LCA. |
| 3 - O objetivo do presente estudo foi avaliar a taxa de retorno econômico da maior proteção do ambiente alcançado com a implementação do sistema de reciclagem. |
| 4 - Avaliar o desempenho energético das tecnologias de produção de eletricidade no Reino Unido, utilizando as metodologias NEA e ACV. |
| 5 - O propósito, pela primeira vez, utilizando a avaliação do ciclo de vida (ACV) no estudo de geração de energia na Polônia. |
| 6 – O objetivo deste trabalho é declarar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo. |
| 7 - O principal objetivo deste estudo é identificar os impactos ambientais da bateria veículos eléctricos (BEV) na frota leve brasileiro, usando LCA. |
| 8 - Este artigo apresenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) quantificação base dos potenciais impactos na saúde humana de tecnologias de geração de energia de base para o ano de 2030. |
| 9 - Neste trabalho, a ACV híbrida baseada em cenário é aplicada para calcular as emissões de carbono em toda a economia de sete tecnologias de geração de energia elétrica em cenários com diferentes penetrações de energia renovável. |
| 10 - O estudo compara o desempenho do transporte da biomassa residual usando diferentes opções de pré-tratamento, obtida a partir de empresas florestais no sul do Chile, bases de dados, a literatura científica e tecnológica e manuais de operação do equipamento. |
| 11 - O artigo aplica-se uma abordagem de ciclo de vida para avaliar, pela primeira vez os impactos ambientais da energia renovável na Turquia. |
| 12 - O presente trabalho se propõe a estimar o ciclo de vida impactos ambientais da energia elétrica em Maurício e fornecer dados de base para monitorar o progresso (ou não) na redução dos impactos do setor. |

Fonte: Organizado pelo autor

Quadro 3 – Resumo dos artigos

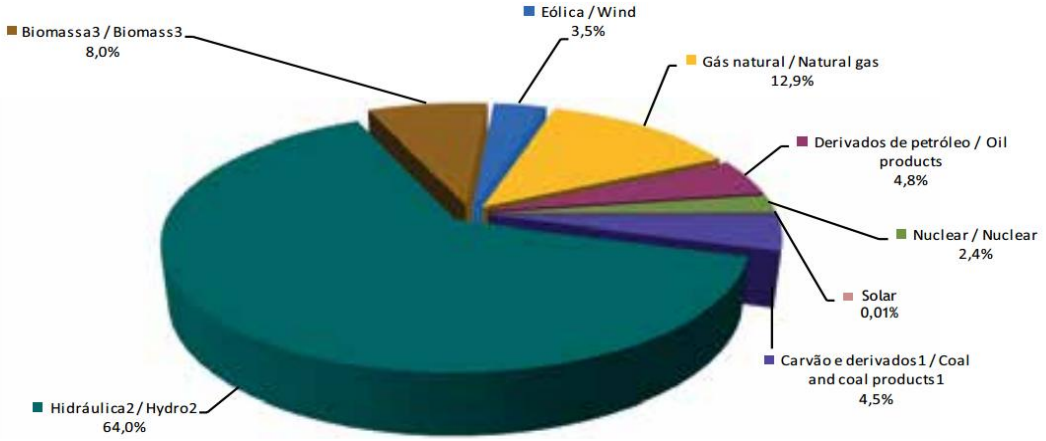
Portanto, observa-se que no Quadro 2 o método ReCipe ganhou destaque e apresentou grande aplicação nos trabalhos desse tipo, visto que, é conhecido e um dos mais utilizados para a de Ciclo de Vida atualmente. O Quadro 4 apresenta os princípios gerais da metodologia.

| **Método ReCiPe** | |
|---|---|
| Fonte Primária | Goedkoop et al. (2009) |
| Propósito da metodologia | Combinar metodologias midpoint e endpoint em um meio consistente. |
| Validade geográfica | Categorias de impacto globais para mudança climática, depleção do ozônio e recursos. Modelo europeu para outras categorias de impacto. |
| Impactos midpoint englobados | Mudança climática, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação fotoquímica oxidante, formação de material particulado, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação iônica, ocupação de solo para agricultura, ocupação de solo para área urbana, transformação de solo natural, depleção de recursos fósseis, depleção de recursos minerais, depleção de recursos de água doce. |
| Impactos endpoint englobados | Saúde humana, Qualidade de ecossistema e depleção de recursos. |

Fonte: Adaptado de ILCD (2010)

Quadro 4 – Princípios Gerais dos principais métodos endpoint

A segunda etapa dos resultados trata-se do levantamento dos tipos de fontes de geração de energia elétrica no Brasil. O Balanço Energético Nacional (BEN) lançou em 2016 (ano base referente a 2015) o relatório anual, através do Ministério de Minas e Energia (MME). O relatório final do Balanço Energético Nacional apresenta a contabilização da oferta, transformação e consumo final de produtos energéticos no Brasil.




Fonte: Relatório Final BEN 2016 (2016)

Gráfico 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no País

De acordo com o gráfico 1, em 2015, como o esperado, a principal fonte energética brasileira é a hidroelétrica, correspondendo a 64,0% da produção de energia elétrica total, mesmo apresentando uma diminuição de 3,7% comparado a produção de 2014. O MME considera como geração hidráulica o valor correspondente à produção bruta de energia, ou seja, medido nas centrais.

Em segundo lugar em produção aparece o gás natural, correspondendo a 12,9% do total. A média diária de produção do ano foi de 96,2 milhões de m³/dia e o volume de gás natural importado foi de 50,4 milhões de m³/ dia, a demanda industrial por gás natural registrou uma expansão de 2,5% em relação ao ano anterior (BEN, 2016).

Em terceiro, observa-se que a biomassa representa 8,0% da produção de energia elétrica no Brasil, visto que, em 2014 representou 7,3% na geração de energia elétrica pela fonte. A biomassa pode compor a queima da madeira, carvão vegetal, resíduos agrícolas, cana de açúcar, palha de cana, cavaco de madeira, dentre outros.

Já o carvão a vapor ficou com uma fatia de 4,5% da oferta interna, mesmo com a baixa demanda por carvão a vapor, ele sofreu um aumento em 2015 de 9,4% comparado ao ano anterior.

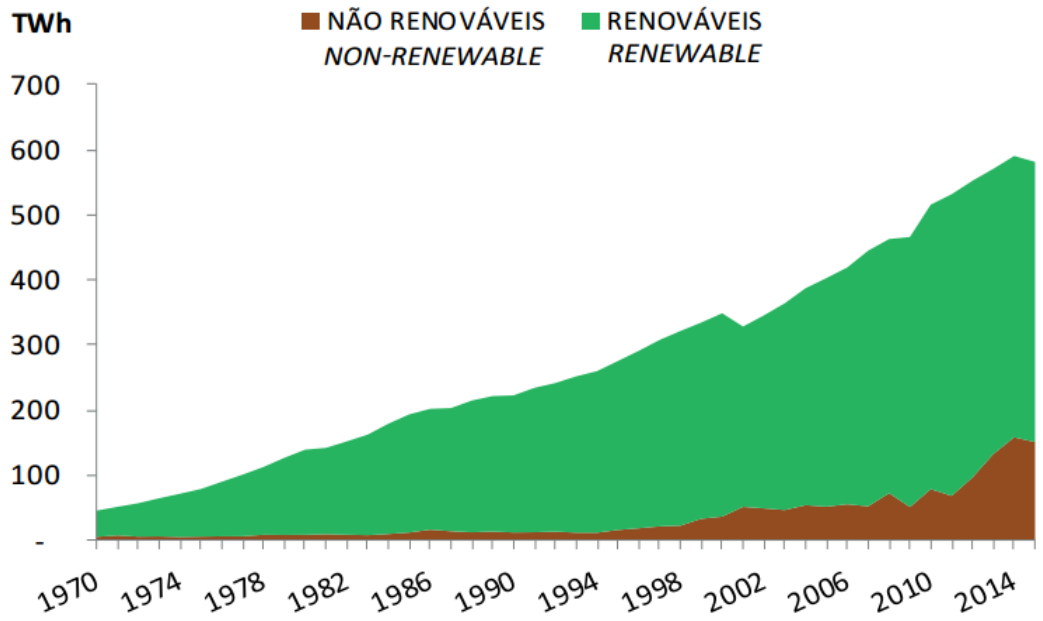
O derivado do petróleo fica com 4,8% da produção para fins energéticos, e a nuclear representa 2,4%. A geração de energia elétrica por fontes não renováveis, como derivado do petróleo, energia nuclear, carvão, por exemplo, representou 26,0% do total nacional em 2015, contra 26,8% no ano anterior (BEN, 2016).

Já as fontes limpas, ou seja, renováveis, fontes que não se esgotam com o passar do tempo, representa 3,5% da energia eólica, visto que no ano anterior representou 2,0%, ou seja, observa-se que no período de um ano seu crescimento foi relevante e positivo. A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 21.626 GWh em 2015, equivalente a um aumento de 77,1% em relação a 2014, quando se atingiu 12.210 GWh, superando, assim, a geração nuclear (BEN, 2016).

Outra fonte renovável é a energia solar, sua geração de energia elétrica ainda é baixa no Brasil, com 0, 01% da fatia de produção nacional. No ano anterior sua produção era tão baixa que não aparecia nos gráficos de comparação do BEN, já este ano, sua produção ganhou destaque.

Portanto, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque na geração hidráulica que representam 64,0% da oferta interna. As fontes

renováveis representam 75,5% da oferta interna de eletricidade no país (BEN, 2016).

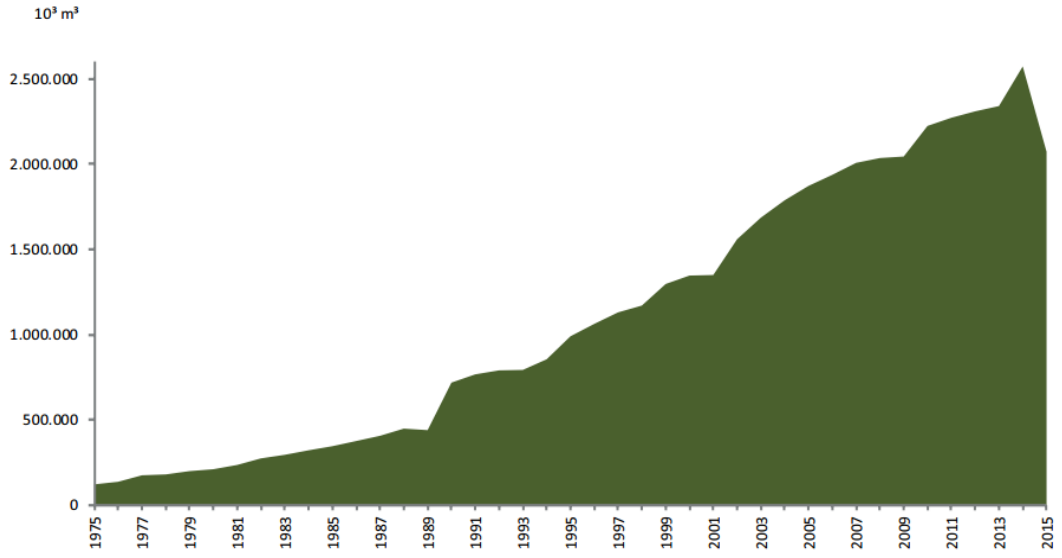



Fonte: Relatório Final BEN 2016 (2016)

Gráfico 2 – Geração de energia elétrica total no Brasil

No gráfico 2, observa-se que as fontes renováveis no Brasil sempre ficaram com a maior parte da produção, visto que, o país investiu e ainda investe fortemente em hidroelétricas, de modo que, a posição geográfica brasileira é favorecida pelos rios e quedas d'água. Atualmente, são 64,0% de produção por fonte hidrelétrica, o que justifica no gráfico por fontes renováveis apresentarem a maior região.

A pequena queda no gráfico por fonte renovável em 2002 se deu pela crise que o país atravessou, onde empresas foram obrigadas a reduzir sua produção, reduzindo assim, o consumo de energia elétrica. Em 2014/2015, outra grande crise atravessou o país, de modo que, várias indústrias fecharam suas portas, diminuíram sua produção, demitiram funcionários e consequentemente afetou a produção da energia elétrica brasileira.




Fonte: Relatório Final BEN 2016 (2016)

Gráfico 3 – Reservas provadas de petróleo no País

A produção nacional de petróleo cresceu 8,0% em 2015, obtendo a média de 2,44 milhões de barris diários, cuja extração, 93,4% são de origem marítima (BEN, 2016). Observa-se no gráfico 3 que as reservas provadas de petróleo no Brasil cresceram desde a década de 70 até 2015, provando que o país apresenta grande potencial de extração e rendimento em relação ao petróleo.

Em relação aos estados produtores, o Rio de Janeiro foi responsável pela maior parcela do montante atual, ou seja, 67,0%. Já a produção terrestre, o Estado do Rio Grande do Norte lidera com 31,0% do total *onshore* (BEN, 2016).

Os principais motivos do crescimento da produção brasileira de petróleo em 2015 foi devido ao aumento da produção da plataforma P-58 (Bacia de Campos) e da plataforma FPSO Cidade de Mangaratiba no pré-sal (Bacia de Santos) e a antecipação do início da operação da plataforma FPSO Cidade de Itaguaí (Bacia de Santos) (BEN, 2016).

## 4. Conclusão

Os resultados obtidos neste projeto permitem concluir que já estão sendo desenvolvidos estudos científicos internacionais de alto impacto. Muitos países analisaram suas composições energéticas ou realizar análises do setor utilizando ACV para gerar conhecimento sobre o sistema e apoiar decisões futuras e políticas públicas.

Observa-se a importância da produção de energia elétrica no país, visto que, tanto a população quanto o desenvolvimento econômico vêm aumentando. A produção de energias limpas no Brasil nos últimos anos tem representado um avanço significativo na área, visto que as gerações de energia como a eólica e a solar são de fontes renováveis. Observa-se que as fontes limpas estão aumentando e tomando espaço das fontes não renováveis como o petróleo, gás natural e carvão, por exemplo. As fontes limpas representam 75,5% da demanda total nacional, visto que, a hidrelétrica fica com 64,0% da produção de energia elétrica no país.

Pesquisadores, empresários, governo e sociedade cada vez mais estão preocupados com questões ambientais, no ecologicamente correto e no economicamente viável em função da melhor produção e aproveitamento de recursos naturais e não naturais para a produção de energia.

## Referências

**ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040:2009** Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009a.

**ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009** Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações. Brasil, 2009b.

**ATILGAN, Burcin; AZAPAGIC, Adisa.** *Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts.* Manchester: Renewable Energy, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115304985>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**BERRILL, Peter et al.** *Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe.* Noruega: Environmental Research Letters, 2016. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/1/014012>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**BP-ENERGY-OUTLOOK.** *Country-Insights-Brazil.* Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2016/bp-energy-outlook-2016-country-insights-brazil.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL CONSOLIDADO (2014). 2015.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL CONSOLIDADO (2015). 2016.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

**BRIZMOHUN, Ravina; RAMJEAWON, Toolseeram; AZAPAGIC, Adisa.** *Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius.* Mauritius: Journal Of Cleaner Production, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261401213X>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**CENTER FOR INDUSTRIAL ECOLOGY YALE UNIVERSITY.** *Resource Efficiency and Environmental Trade-Offs of Clean Energy Options.* Disponível em: <http://cie.research.yale.edu/research/clean-energy-choices-resource-efficiency-and-environmental-trade-offs-clean-energy-options>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**CHERUBINI, Edivan; RIBEIRO, Paulo Trigo.** *Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil.* Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT, 2015.

**CHOMA, Ernani Francisco; UGAYA, Cássia Maria Lie.** *Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet.* Curitiba: Cleaner Production, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615010203>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**GARCIA, Rita; MARQUES, Pedro; FREIRE, Fausto.** *Life-cycle assessment of electricity in Portugal.* Portugal: Applied Energy, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914008782>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R.** *ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / Report I: Characterization.* Holanda: Ministerie van VROM, Den Haag, 2009.

**ILCD (INTERNATIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM).** ILCD Handbook: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment. 2010.

**LELEK, Lukasz et al.** *Life cycle assessment of energy generation in Poland.* Poland: The International Journal Of Lca, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0979-3>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**LÖFGREN, B.; TILLMAN, A.; RINDE, B.** *Manufacturing actor's LCA.* Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 19, p.2025-2033, 2011.

**MUÑOZ, Edmundo; VARGAS, Sebastián; NAVIA, Rodrigo.** *Environmental and economic analysis of residual woody biomass transport for energetic use in Chile.* Chile: The International Journal of LCA, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-015-0891-x>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**RAUGEI, Marco; LECCISI, Enrica.** *A comprehensive assessment of the energy performance of the full range of electricity generation technologies deployed in the United Kingdom.* United Kingdom: Energy Policy, 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515302226>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**RODRÍGUEZ, M.a. Rubio et al.** *Life cycle modeling of energy matrix scenarios, Belgian power and partial heat mixes as case study.* Santa Clara - Cuba: Applied Energy, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913001700>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo.** *Matriz energética brasileira: uma prospectiva.* Rio de Janeiro: Novos Estudos - Cebrap, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**WANG, X.; CHAN, H. K.; LI, D.** *A case study of an integrated fuzzy methodology for green product development.* European Journal of Operational Research, v. 241, n. 1, p. 212-223, 2015.

**WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves da.** *Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais.* Itapetinga: Production, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000200016>. Acesso em: 05 jul. 2016.

**WOLFRAM, Paul; WIEDMANN, Thomas; DIESENDORF, Mark.** *Carbon footprint scenarios for renewable electricity in Australia.* Berlim: Journal Of Cleaner Production, 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616002572>. Acesso em: 05 jul. 2016.