

## **Crêterios para avalia o do desempenho ambiental da primeira usina ondomotriz do Brasil**

**Flavio Numata Junior, Thiago Shoji Obi Tamachiro**

**Resumo:** Problemas como o aquecimento global e polui o atmosférica, obrigam o setor energético a desenvolver solu es que causem menos impacto ao meio ambiente. A energia obtida por meio da força das ondas, ou ondomotriz, apresenta um grande potencial para a gera o energética com menor possibilidade de interferências ambientais. Neste sentido, este artigo tem por objetivo apresentar uma avalia o do desempenho ambiental da primeira usina ondomotriz do Brasil. Para tanto, foi utilizado os princípios de Avalia o de Ciclo de Vida (ACV) associado com a abordagem do método Driving-Force-State-Response (DSR) para a taxonomia explicativa da eficiência ambiental do sistema. Ao final, foi constatado que a usina ondomotriz brasileira pode apresentar efeitos negativos   fauna e flora local e positivos por não emitir gases do efeito estufa e substituir os combustíveis fósseis.

**Palavras chave:** Usina ondomotriz do Brasil, gera o de energia, desempenho ambiental.

## **Criteria for evaluation of environmental performance of the first Brazilian ondomotriz plant**

**Abstract:** Problems such as global warming and atmospheric pollution force the energy sector to create and develop solutions that have less impact on the environment. Tidal power plant, obtained through the force of the tides presents a great potential for the energy generation with less possibility of environmental interferences. In addition, this article aims to present an evaluation of the environmental performance of the first tidal power plant from Brazil. For that, the principles of Life Cycle Assessment (LCA) associated with the Driving-Force-State-Response (DSR) method were used for the explanatory taxonomy of the environmental efficiency of the system. At the end, it was verified that the Brazilian tidal power plant can present negative effects to the local fauna and flora, and positive effects for not emitting greenhouse gases and replacing fossil fuels.

**Key-words:** Brazilian ondomotriz plant, power generation, environmental performance

### **1. Introdu o**

Para satisfazer as demandas energéticas mundiais, a explora o de fontes alternativas de energia, tais como, energia eólica, solar e nuclear, devem ser considerados para minimizar o uso de combustíveis fósseis. Além disso, essas formas alternativas de energia devem ser avaliadas quanto ao impacto ambiental proporcionado.

Uma fonte energética em potencial e que cientistas depositam grande confiança perante a substitui o dos combustíveis fósseis,   a energia obtida pela força das ondas oceânicas (ondomotriz). Essa energia além de ser uma fonte renovável, não poluente e inesgotável, possui como grande vantagem, seu potencial de aproveitamento energético.

Segundo Neto (2011), uma das desvantagens do aproveitamento das correntes de marés está na limita o da energia disponível, pois neste caso as marés apresentam uma baixa densidade energética. Entretanto, os custos reduzidos de instala o e os impactos ambientais mínimos tem tornado essa op o tecnológica bastante atrativa em vários aspectos.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar os indicadores de desempenho ambiental da primeira usina ondomotriz brasileira, localizada em Fortaleza - CE. O uso da tabela DSR para o estudo de impactos de usina de ondas é inédito, porém o uso desse indicador será baseado na metodologia do trabalho de Silva (2011), na qual apresenta seis tabelas DSR para as seguintes fontes energéticas: hidrelétrica, petróleo, nuclear, eólica, etanol e biodiesel. Logo, a avaliação proposta neste artigo poderá servir para complementar a pesquisa do autor referenciado e fazer comparações de desempenho ambiental com outros projetos de usinas de ondas. Cabe ainda destacar que a usina a ser estudada possui sistema *onshore* (instalação localizada em terra firme), na qual há poucas pesquisas em desenvolvimento, pois a maioria das usinas oceânicas são do tipo *offshore* (instalação localizada em alto mar).

Seguida desta introdução, o capítulo 2 aborda a definição e características de usinas ondomotrizas, e, as ferramentas que serão utilizadas na pesquisa: Avaliação de Ciclo de Vida (AVC) e *Driving-Force-State-Response* (DSR). Em seguida, tem-se o capítulo de metodologia da pesquisa adotada e posteriormente, os resultados e conclusões deste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ENERGIA DAS ONDAS

A energia das ondas é formada pelo vento soprando sobre a superfície da água e também por movimentos sísmicos. Esse tipo de energia, comparado às outras fontes oceânicas (correntes oceânicas, marés, gradiente térmico e gradiente salino), é a que apresenta maior potencial de geração de energia elétrica com cerca de 2,7 TW (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).

O potencial energético das ondas é obtido por meio do conceito de conservação de energia, onde a velocidade da onda gera a energia cinética, a amplitude da onda gera a energia potencial, e o somatório de ambas as energias tem-se a energia total (DANTAS, 2015).

#### 2.1.1 Primeira usina de ondas do Brasil

O Brasil possui um grande potencial na utilização da energia das ondas pelo fato de apresentar extensa costa oceânica. A usina do porto de Pecém (Figura 1), situado a 60 km a norte de Fortaleza – CE é a primeira usina da América Latina a utilizar a força das ondas para geração de energia. O projeto desenvolvido pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) e financiado pela Tractebel Energia, utiliza tecnologia 100% nacional e funciona por meio de braços mecânicos que se movimentam pelas ondas do mar. Esse movimento faz com que a água seja injetada em câmara hiperbáricas que liberam jatos d'água com pressão e vazão necessárias para acionar uma turbina ligada a um gerador, produzindo eletricidade (SESMIL, 2013).



Fonte: Portal Biosistemas (2018)

Figura 1: Usina ondomotriz do porto de Pecém

Apesar das características tecnológicas e ambientais positivas, a usina brasileira encontra-se desativada desde 2014. A Empresa de Pesquisa (2007) informou possíveis efeitos ambientais pelo sistema ondomotriz nas seguintes dimensões:

- Ambientais: O sistema apresenta algumas restrições ambientais relacionadas principalmente com o ruído. Também deve-se atentar a escolha de materiais anticorrosivos para os componentes da usina, devido a salinidade da água do mar.
- Energia: No aspecto energético, a instalação da usina piloto no porto de Pecém, indicam valor médio de 7,7 kW/m, com a vantagem, porém, de maior regularidade motivada pela constância dos ventos alísios na região. Pelo sistema ser do tipo *onshore*, apresenta desvantagem de possui menor potência das ondas devido ao atrito com o fundo mais raso do mar.

No aspecto econômico, considerando o potencial de 100 kW de geração, seria possível abastecer cerca de 60 casas com valor de consumo médio ao padrão local, limitando o potencial da usina, ainda que possua licença para operar até 2020 (PENSAMENTO VERDE, 2014).

## 2.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

A técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) focaliza aspectos e impactos ambientais pelo uso dos recursos naturais, incluindo o solo e as emissões ao meio ambiente, ao longo de todo ciclo de vida de um produto (ABNT, 2009). São quatro fases de um estudo de ACV:

1. Definição do objetivo e escopo;
2. Análise de inventário;
3. Avaliação dos impactos;
4. Interpretação.

O escopo e profundidade da ACV podem variar conforme o objeto em avaliação. O diagnóstico da avaliação é realizado por meio da agregação de fatores a categorias de impacto, para permitir um estudo comparativo consistente da interferência que podem ocorrer entre os recursos de entradas e seus efeitos. As categorias de impactos se subdividem de acordo com seus indicadores de impactos ambientais (UNEP/SETAC, 2012):

- *Midpoint*: mudanças climáticas, acidificação, toxicidade humana, eutrofização.
- *Endpoint*: saúde humana, qualidade do ecossistema, recursos.

### 2.3 DRIVING-FORCE-STATE-RESPONSE (DSR)

O método *Driving-Force-State-Response* (DSR) ou Força motriz – Estado - Resposta, elaborado pela Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE), é um quadro de indicadores de desenvolvimento sustentável que cobre as três áreas do triple da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) proposto por Elkington (2004) mais a dimensão institucional. Devido ao acréscimo da dimensão institucional, o DSR é uma expansão do Pressure – State - Response (PSR), um dos sistemas de indicadores mais utilizados para classificar indicadores de sustentabilidade (Gonçalves et al. 2004).

Silva (2011), explica que a “Força motriz” é caracterizada pelas ações humanas, processos e padrões que causam impactos na sustentabilidade do sistema. O “Estado” reflete a qualidade do meio ambiente (ar, água, solo e recursos vivos) em determinado momento e a “Resposta” mostra a reação da sociedade em relação aos indicadores de desenvolvimento sustentável.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho se trata de uma pesquisa exploratório-descritiva que visa coletar dados de artigos para avaliar o desempenho ambiental da usina de ondas do porto de Pécem. Para isso, primeiramente deverão ser analisados e escolhidos as melhores variáveis de indicadores de desempenho ambiental que se encaixam no tema proposto.

#### 3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS DA ACV A SEREM ANALISADOS

O levantamento de dados para o inventário de ciclo de vida (ICV) é considerado a etapa mais complexa do estudo. Um inventário do ciclo de vida (ICV) deve conter: coleta, validação e agregação do fluxo de entradas e saídas de dados para quantificar a utilização de materiais, uso de energia, descargas ambientais e resíduos associados a cada estágio durante o ciclo de vida (CIAMBRONE, 2008). Os aspectos ambientais devem englobar efeitos quanto (REIJENDERS (1996) APUD HENDRICKSON ET AL (2006):

- Impactos por fontes: uso de fontes não renováveis e renováveis, poluição destas fontes;
- Impacto direto sobre o ecossistema: perdas e alterações no meio ambiente;
- Poluição atmosférica: contribuição para o aquecimento global, para a deterioração da camada de ozônio, emissões de substâncias tóxicas no ar, deposição de materiais ácidos ou produção de odores;
- Poluição do solo: resíduos sólidos ou líquidos provenientes de insumos agrícolas ou toxinas metálicas;
- Qualidade das águas: descargas biológicas ou químicas, descargas tóxicas, aquecimento e demais contaminações dos corpos d’água;
- Emissão de ruídos;
- Radiação ou campos eletromagnéticos;
- Radiação ionizante.

#### 3.2 ESCOLHA DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA CONSTRUÇÃO DA TABELA DSR

Seguindo as premissas do item 1, foi explorada as abordagens da tabela DSR para a usina ondomotriz do Porto do Pécem (SILVA, 2011), gerando os indicadores de sustentabilidade para a tabela DSR no Quadro 1.

DIMENSÕES	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
Sociais	Possibilidade de catástrofe
	Vetores propícios às doenças
	Deslocamento da população
	Perda de cidadania
Ambientais	Energia limpa
	Problemas com espécies
	Problemas com a flora
	Gera de lixo/expurgos
	Diminuição de florestas
	Inundação de cidades e florestas
	Emissão de ruídos
Econômicas	Custos de produção de energia
	Custo de implantação
	Custo de reparos do meio ambiente;
	Retorno de capital
	Gastos públicos decorrente da fonte
	Diminuição da economia local
Institucionais	Ineficiência de transformação energética
	Gestão da informação
	Necessidade de matéria prima
	Escala de produção

Fonte: os autores

Quadro 1: Indicadores de sustentabilidade

#### 4. RESULTADOS

De acordo com os aspectos ambientais citados, o desempenho ambiental de usinas de ondas, poderia ser enquadrado na seguinte relação entre os seus potenciais efeitos e as categorias de impactos da ACV, conforme o Quadro 2.

Potenciais impactos	Categorias de impactos	Avaliação em relação ao ICV
Alteração do ambiente marinho pela elevação da carga hidrodinâmica no local de exploração	Qualidade do ecossistema	Consequência na área de proteção com valor reconhecido pela sociedade
Alteração do habitat local da plataforma	Qualidade do ecossistema	Consequência na área de proteção com valor reconhecido pela sociedade
Interferência sobre a qualidade da água pela ação dos componentes mecânicos de captação	Qualidade do ecossistema	Consequência na área de proteção com valor reconhecido pela sociedade
Toxidade aquática pela combinação de resíduos com os dispositivos de captação	Qualidade do ecossistema	Consequência na área de proteção com valor reconhecido pela sociedade
Emissão de ruídos	Saúde humana	Consequência na área de proteção com valor reconhecido pela sociedade

Fonte: Desenvolvido pelos autores

Quadro 2: categorias de impactos ambientais de usinas de ondas

Observa-se que os efeitos ambientais estariam ligados somente à categoria de qualidade do ecossistema. A qualidade do meio ambiente refere-se ao valor do meio ambiente para o homem e também aos danos potenciais ao ecossistema do objeto de análise (WEIDEMA, 2002). Para identificar adequadamente os fatores, o ICV deve incluir dados referentes a quantidade, tipo e localização da fonte emissora, além do compartimento ambiental da substância emissora. A caracterização dos danos é a contribuição ambiental das categorias dos impactos. A valoração dos danos (VD) é o resultado da somatória entre o produto dos fatores de caracterização de danos (FD) da categoria intermediária dos dados (i) em relação à unidade de medida das emissões (d) e o indicador intermediário da categoria dos efeitos (I):

$$VD = \sum FD_{i,d} \cdot I_i$$

Os indicadores de danos representam o valor mensurável de impacto ocasionado na categoria como uma medida de risco ecológico. Para calcular a VD é necessário o levantamento de informações para compor o inventário de dados suficiente para a mensuração dos impactos, dados ainda inexistentes no Brasil. Por este motivo, a representação de VD será efetuada pela correlação com o DSR do quadro 1. Sendo assim, considerando as diferentes fontes de interferências ambientais, é apresentada a seguinte tabela (1) de referência para ICV, denominado de “Indicadores de sustentabilidade para usinas de ondas”, adaptado do método DSR, para a mensuração do VD das operações de

trabalho. Foram atribuídos os números (1) para ocorrência ou (-1) para não ocorrência da variável. Por exemplo, na energia de ondas, a variável “provoca perda de cidadania” ocorre? Não, logo recebe nessa variável o valor -1. E para a variável “alto custo de implantação”? Sim, logo levaria o valor 1. A taxonomia é apresentada no Quadro 3:

<b>Dimensões</b>	<b>Indicadores de sustentabilidade</b>	<b>Energia das ondas</b>
<b>SOCIAIS</b>	Existe possibilidade de catástrofe	1
	Provoca aumento de doenças (tipo malária)	-1
	Provoca deslocamento da população	-1
	Provoca perda de cidadania	-1
<b>AMBIENTAIS</b>	Emite CO <sub>2</sub> e outros gases efeito estufa	-1
	Causa mudanças climáticas	-1
	Causa fim de espécies (fauna e flora)	1
	Gera de lixo/expurgos	-1
	Provoca diminuição de florestas	-1
	Provoca inundações	-1
	Impossibilidade de irrigação	-1
<b>ECONOMICOS</b>	Há altos custos de produção	-1
	Há alto custo de implantação	1
	Há custo de reparos do meio ambiente	-1
	Há demorado retorno de capital	1
	Há gastos públicos decorrente da fonte	-1
	Há custos de deslocamento da população	-1
	Há diminuição da economia local (tipo pesca)	-1
<b>INSTITUCIONAIS</b>	Há ineficiência da transformação energética	-1
	Há necessidade de incentivos	1
	Não existência de matéria-prima	1
	Reduzida escala de produção	1
	Não há fornecedores nacionais	-1

Fonte: Adaptado de Silva (2011)

Quadro 3: Indicadores de sustentabilidade para usinas ondomotrizes

O Quadro 3 pode ser utilizado para uma análise sintética e imediata dos indicadores de desempenho ambiental e fazer comparações (simples ou complexas) com outras fontes de obtenção de energia e, até mesmo, servir modelo de adaptação para DSR. O Quadro 4 apresenta a DSR completa para a usina de ondas do Porto de Pécem.

Força Motriz		Estado	Resposta/observação
SOCIAIS	Implantação da usina ondas	Não provoca deslocamento da população	Região restrita apenas para a usina;
		Não provoca perda de cidadania	
		Geração de emprego	Melhoria da qualidade de vida para comunidades próximas
AMBIENTAIS	Risco de acidentes	Risco mínimo de possibilidade de catástrofe	Monitoramento e manutenção adequados nos componentes da usina previnem riscos de catástrofe.
	Uso de fonte combustível não poluidora	Energia Limpa	Não emite gases de efeito estufa
			Baixo custo de produção de energia
			Não gera lixo ou expurgos
	Implantação da usina na encosta marítima	Não gera desastres ambientais, tais como inundação, quebra de barragens, etc	Apenas dependência das condições climáticas das marés
		Gera problemas com espécies (fauna)	Animais aquáticos que deslocam próxima a usina, podem colidir com componentes externos
		Gera problemas com a flora	Possível ocorrência de erosão na encosta marítima
Alteração visual		Não provoca redução de florestas	
Utilização de equipamentos pesados sem proteção acústica	Emissão de ruídos	Necessidade de conscientização com o benefício ambiental gerado	
INSTITUCIONAIS	Produção de energia	Há ineficiência da transformação energética	Ruídos subaquáticos ou aéreos que devem ser gerenciados.
	Choque do petróleo	Pressão por produção mais limpa	As ondas do Brasil tem constância de 40% ao ano
		Pressão por energia mais barata	Geração de emprego
			Investimento de P&D em outras fontes de energia

	Implantação da usina de ondas	Competição de investimento local com outras fontes de energia	Há necessidade de incentivos (Gestão da informação)
		Reduzida escala de produção	Necessário realizar comparativo com outras fontes de energia
<b>ECONÔMICOS</b>	Construção da usina de ondas	Baixo custo de produção de energia	Energia limpa
		Alto custo de implantação	Investimentos em P&D para reduzir os custos de implantação buscando novas tecnologias
		Não há diminuição da economia local (tipo pesca)	Área restrita apenas para a usina
	Fonte alternativa de energia	Redução da dependência de importação de outros tipos de energia	Atração de investimentos no setor

Fonte: Adaptado de Silva (2011)

Quadro 4: DSR para usina de ondas

## 5. CONCLUSÕES

O modelo adotado da usina brasileira apresenta um sistema de geração de energia que evita possíveis emissões entre os componentes mecânicos e os fluxos das ondas. O sistema *onshore* realiza os processos de conversão de energia em unidade industrial isolada, sem interferência direta ao meio local. Em relação à dimensão ambiental, a ACV foi realizada na fase do “portão”, para verificar o desempenho ambiental direto dos recursos de infraestrutura em operação. O projeto da usina de ondas do porto de Pecém foi o primeiro passo para que pesquisadores brasileiros pudessem gerar conhecimentos e experiências sobre projetos do gênero. Como a usina encontra-se desativada desde 2014, a modelagem DSR apresentada torna-se um importante instrumento para avaliação dos riscos sobre efeitos ambientais e o patamar de sustentabilidade do primeiro sistema ondomotriz brasileiro. A pesquisa também poderia contribuir para avaliações acerca do novo projeto de sistema maremotriz offshore previsto para a região litorânea do Rio de Janeiro.

## 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: Cemig, 2012.

CIAMBRONE, D. F. **Environmental Life Cycle Analysis**. New York, USA: Lewis Publishers, 2008.

DANTAS, C. E. B. **Estudo dos conversores de energia ondomotriz em energia elétrica**. Universidade de Brasília: UNB, 2015. 60f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica).

ELKINGTON, J. **Enter the triple bottom line**. 2004. Disponível em: <http://www.johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>. Acesso em: 2 de maio de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: EPE, 2030.

GOLÇALVES, M. B. R. O.; FERREIRA, A. H. B. **Sustentabilidade ambiental: objetivo 7: garantir a sustentabilidade ambiental/ [organização]** UnB, PUC Minas/IDHS, PNUD. – Belo Horizonte: PUC Minas/IDHS, 380p. – (Coleção de estudos temáticos sobre objetivos de desenvolvimento do milênio da rede de laboratórios acadêmicos para acompanhamento dos objetivos de desenvolvimento do milênio). 2004.

HENDRICKSON, C. T.; LAVE, L.B; MATTHEWS, H.S. **Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Service**. Washington, DC, USA: Resources for the Future, 2006.

NETO, P. B. L.; SAAVEDRA, O. R.; CAMELO, N. J.; RIBEIRO, L. A. S.; FERREIRA, F. M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare**. Revista chilena de ingeniería, 2011.

PIACENTINI, P. Notícias do Brasil. Energia Renovável. Faltam estratégias no Brasil para gerar energia das marés. **Ciência e Cultura**. Vol.68 no.3 São Paulo July/Sept. 2016.

PENSAMENTO VERDE. **Ceará possui a primeira usina de ondas da América Latina**. 2014. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/ceara-possui-primeira-usina-de-ondas-da-america-latina/>. Acesso em 29 mai. 2019.

PORTAL BIOSISTEMAS. **Energia das ondas no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7953>. Acesso em 29 mai. 2019.

SESMIL, E. L. F. **Energia Maremotriz: impactos ambientais e viabilidade econômica no Brasil.** Lavras: UFLA, 2013. 62f. Monografia (Especialização em fontes alternativas de energia).

SILVA, Ricardo Moreira da. **Um modelo para análise da sustentabilidade de fontes elétricas.** Recife: UFPE, 2011. 387p. Tese (doutorado estratégia, finanças e sustentabilidade empresarial).

UNEP/SETAC, L. C. (2012). **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices.** United Nations Environmental Programme (UNEP).

WEIDEMA, B. P. Areas of protection and the impact chain: comments on the last version (15 february 2001). **Global LCA Village**, n. March 2002, p. 1-3. 2002.