



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## **AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA: PROTÓTIPO E INDUSTRIAL**

**BRUNA GRAZIELE SINS** – brunagsins@gmail.com

Universidade de Santa Cruz do Sul  
Avenida Independência, 2293  
96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

**RAFAEL MARTINS DA SILVA** - rafaelmartins26@yahoo.com.br

Universidade de Santa Cruz do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental  
Avenida Independência, 2293  
96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

**ADILSON MOACIR BECKER JR.** - adilsonbecker.jr@gmail.com

Universidade de Santa Cruz do Sul  
Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias  
Avenida Independência, 2293  
96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

**DIOSNEL ANTONIO RODRIGUEZ LOPEZ** – dlopez@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental  
Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias  
Avenida Independência, 2293  
96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

**ADRIANE DE ASSIS LAWISCH RODIGUEZ** - adriane@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental  
Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias  
Avenida Independência, 2293  
96815-900, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

**Resumo:** O presente trabalho objetivou a análise comparativa dos impactos associados a produção e disposição final de dois sistemas de aquecimento solar de água, sendo eles, comercial e um protótipo com boiler constituído de compósito de resina ortoftalica mármore agregado de partes aéreas de girassol. Para tal, utilizou-se a Análise do Ciclo de Vida (ACV) através do software Umberto NTX LCA e banco de dados Ecoinvent 3.0. Inicialmente definiu-se o escopo, onde optou-se pela análise desde a produção dos sistemas até o final de vida útil destes. Para o desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) coletou-se informações referentes à massa dos materiais constituintes dos sistemas, utilizando como unidade equivalente a produção e disposição final de um sistema de aquecimento solar de água. Salienta-se que a metodologia de construção do (ICV) seguiu a norma ISO 14040. Os dados foram inseridos no software Umberto que quantificou e qualificou os impactos associados a este tipo de sistema por meio da Análise do Ciclo de vida. Através da análise dos dados

Realização

 ABES-RS



Correalização

 fepam

 UFRGS  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

observou-se drástica redução dos impactos associados em relação ao sistema comercial para o protótipo nas categorias referentes a emissão de gases do efeito estufa e toxicidade humana, onde os mesmos apontam reduções respectivamente de 88,12% e 99,8%, em consequência da remoção do aço do reservatório térmico. Salienta-se que o compósito apresenta as características estruturais e de eficiência térmica necessárias para um sistema de aquecimento solar de água, mantendo competitividade econômica além de valorar resíduo da agroindústria.

**Palavras-chave:** *Análise do Ciclo de Vida, Sistema de Aquecimento Solar de Água, Inventário do Ciclo de Vida, Impactos Ambientais.*

## COMPARATIVE EVALUATION OF THE LIFE CYCLE OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS: PROTOTYPE AND INDUSTRIAL

**Abstract:** The present work aimed at the comparative analysis of the impacts associated with the production and final disposal of two solar water heating systems, being, commercial and a prototype with a boiler composed of a composite orthophthalic marble resin aggregate of aerial parts of sunflower. For this purpose, the Life Cycle Analysis (LCA) was used through the Umberto NTX LCA software and the Ecoinvent 3.0 database. The scope was initially defined, where the analysis was chosen from the production of the systems until the end of their useful life. For the development of the Life Cycle Inventory (LCI) information was collected on the mass of the constituent materials of the systems, using as an equivalent unit the production and final disposal of a solar water heating system. It should be noted that the methodology of construction of the (LCI) followed the standard ISO 14040. The data were inserted in the software Umberto that quantified and qualified the impacts associated with this type of system through the Life Cycle Analysis. Through the analysis of the data, there was a drastic reduction of the associated impacts in relation to the commercial system for the prototype in relation to the emission of greenhouse gases and human toxicity, where they indicate reductions respectively of 88.12% and 99.8%, as a consequence of the removal of the steel from the thermal reservoir. It should be noted that the composite presents the structural and thermal efficiency characteristics required for a solar water heating system, maintaining economic competitiveness in addition to assessing waste from the agroindustry.

**Keywords:** Life Cycle Analysis, Life Cycle Inventory, Solar Water Heating System, Environmental impacts.

### 1. INTRODUÇÃO

As fontes convencionais usualmente utilizadas para o abastecimento energético já apresentam indicações de extinção, com isso há um grande aumento na busca de fontes com grandes potenciais energéticos e que não agridam em demasia o meio ambiente, tal como a energia solar. Uma opção de grande valia para a energia solar é a sua utilização para aquecimento de água residencial, que chega hoje a aproximadamente 27% do consumo de uma residência. Ainda sua utilização para sistemas de aquecimento solar de água é justificada pelo posicionamento geográfico bem localizado do país, sendo de clima tropical possuindo alto índice de radiação em todos os estados durante todo o ano. Salienta-se ainda que a geração de energia elétrica no país tem como fonte convencional usinas

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

hidrelétricas, termelétricas e nucleares que possuem grande potencial poluidor gerando impactos ao meio ambiente.

Comodi (2015) salienta que, por mais que a energia solar seja limpa e renovável, há impactos ambientais associados a produção dos equipamentos que integram o sistema de coleta da radiação solar, tanto no uso fototérmico, quanto no fotovoltaico. Ainda inserção de sistemas de aquecimento solar de água, beneficiam as concessionárias de energia elétrica, reduzindo a potência utilizada nos horários de pico, transferência de energia armazenada para segmentos de mercado produtivo e melhora nos serviços ofertados aos clientes (OLIVIA & BORGES, 1996). Uma das barreiras para a disseminação dos aquecedores solares de água é o alto custo dos equipamentos, principalmente para residências de baixa renda, motivo crucial para o desenvolvimento de sistemas de baixo custo, possibilitando maior alcance deste tipo de tecnologia (MOGAWER & SOUZA, 2004).

Em vista dos custos ambientais da exploração de fontes de energia e da preocupação socioambiental que cresce gradual e sistematicamente, identificar, mensurar e administrar estas demandas são fundamentais. Uma das ferramentas utilizadas para quantificar e qualificar os efeitos ambientais e financeiros sobre produtos e serviços é a Análise do Ciclo de Vida (ACV). É uma ferramenta de raciocínio metódico que a partir da tomada de decisões gera informações, avaliando impactos, comparando desempenho ambiental de produtos. Segundo Librelotto (2008), a ACV foi criada devido à preocupação de organizar a fatura energética dos edifícios, hoje ela desenvolveu-se e passou a abranger tudo que integra problemas e impactos ambientais. Grande parte dos produtos existentes no mercado exige diversos processos de produção, distribuição, utilização e rejeição, ao longo do seu ciclo de vida. ACV estuda o ciclo de vida do produto desde extração até a disposição final do produto. Para realização da ACV, é preciso uma análise crítica dos produtos e processos envolvidos no sistema, levando em consideração os impactos ambientais (CHEHEBE 1997).

Diante dessas prerrogativas o presente trabalho visa à elaboração da análise do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água industrial e alternativo constituído de material compósito, com o objetivo de mensurar e comparar o impacto ambiental na produção e disposição final de ambos sistemas.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Análise Do Ciclo De Vida

A metodologia para a utilização da ferramenta para Análise do Ciclo de Vida nos sistemas de aquecimento solar de água seguiu as etapas, conforme Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma seguido para aplicação do ACV



Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



## 2.2 Análises de objetivo de escopo

Para a realização da análise do ciclo de vida, o escopo adotado foi caracterizado desde a produção do boiler até o final de sua vida útil sem considerar a extração de matéria prima e a fabricação dos materiais componentes dos sistemas, devido à complexidade de obtenção destes dados quando abrangidas estas etapas.

## 2.3 Elaboração de cenários

Na Tabela 1 consta a descrição dos cenários dos sistemas de aquecimento solar de água que foram comparados para a realização deste estudo:

Tabela 1 – Descrição dos cenários dos sistemas de aquecimento solar de água

Coletores	Cenário 0	Cenário 1
Boiler	100 L	26 L
Isolamento	Poliuretano	Resina termo fixa
Placa solar	1 m <sup>2</sup>	0,2 m <sup>2</sup>

Para elaboração dos cenários e melhor análise de impactos relacionados aos avanços desenvolvidos pelo projeto, optou-se pela divisão dos diferentes cenários comparativos. O cenário 0 consistiu em um sistema industrial fabricado pela empresa Centersol. O sistema possuía capacidade de suprir a demanda de uma família com até quatro membros. No cenário 0, o boiler era constituído por Poliuretano (PU) e aço. No cenário 1, o aço foi retirado e o PU foi substituído por material compósito produzido por resina ortoftálica com resíduo de girassol agregada. O boiler do cenário 1 foi elaborado na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), em menor tamanho, no entanto, a proporção de tamanho do boiler para a placa foi mantida.

## 2.4 Inventário

Considerando as normas ISO 14040 para ACV do sistema de aquecimento solar de água, foram levantadas informações referentes à massa dos materiais inseridos no sistema, obtendo-se então o inventário do coletor do Cenário 0 e do Cenário 1, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Inventário dos boilers dos sistemas de aquecimento solar de água para o Cenário 0 e 1.

Cenário 0		
Descrição	Unid	Quantida
Cano de aço cromado	kg	16,90
Poliuretano rígido	kg	18,00
Chapa de aço enrolada	kg	46,70
Copolímero Acrilonitrilo estireno	kg	14,80
Placa de aço cromado	m <sup>2</sup>	15,10
Aço soldado	m	39,00
Cenário 1		
PVC	kg	0,480
Girassol	kg	2,33



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

Resina Ortoftálica	kg	35,31
--------------------	----	-------

Dentre as opções disponibilizadas pelo software referente aos componentes do boiler (Tabela 3), foram escolhidas as opções selecionadas de acordo com a opção resto do mundo, por não conter dados específicos para o Brasil.

## 2.5 Umberto

Foram inseridos no software Umberto os dados obtidos nos inventários, o que permitiu realizar a avaliação dos impactos ambientais dos boilers de cada cenário, quantificando os impactos causados por cada componente do sistema do aquecimento solar de água por completo. Milton (2000), afirma que estabelecidas às redes de fluxo dos materiais, define-se relações de entrada e saída para cada fase dos processos obtidos no inventário, para então incluir os dados de entrada ou saída, logo o software opera suas rotinas de cálculo, proporcionando o entendimento quantitativo de ambas correntes existentes no fluxo.

Tabela 3 - Materiais selecionados no software Umberto para o Cenário 0 e Cenário 1.

Cenário 0	
Material	Processos selecionados na base de dados Ecoinvent v3
Aço Soldado	Soldadura, arco, aço ( <i>welding, arc, steel [RoW]</i> )
Aço Cromado	Produção de tubos de aço cromado (Chromium steel pipe production [GLO])
Poliuretano, espuma rígida	Produção de poliuretano, espuma rígida ( <i>Polyurethane production, rigid foam [RoW]</i> )
Chapa de aço enrolado	Folha de rolamento de aço ( <i>Sheet rolling steel [RER]</i> )
Co-polímero	Produção de copolímero de estireno-acrilonitrilo ( <i>styrene-acrylonitrile copolymer production [RoW]</i> )
Chapa de Aço Cromado	Chapa de aço cromado de chapa de produção, 2mm ( <i>Tin plated chromium steel sheet production, 2mm [RER]</i> )
Cenário 1	
PVC	
Girassol	
Resina de Poliéster, não saturada	Produção de resina de poliéster, não saturada ( <i>Polyester resin production, unsaturated [RoW]</i> )

## 3. Resultados e Discussão

Depois de realizada a ACV do boiler do Cenário 0 (Industrial), pode-se constatar que o valor de impacto para mudanças climáticas do mesmo teve um peso total de 1.628,99 kgCO<sub>2</sub>-Eq (Figura 2) onde o aço, é o componente de maior potencial de impacto ambiental contribuindo com 1.320,64 kgCO<sub>2</sub>-Eq na sua produção. Quando analisado o impacto da Toxicidade humana, verificou-se um total de 20.293,60 kg1,4-DCB-Eq (Figura 3) equivalente onde o aço teve uma contribuição de

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



18.934,6 kg1,4-DCB. No cenário 1 (Protótipo), o qual é proposto como cenário alternativo ao cenário industrial (Cenário 0) observa-se um valor de impacto para mudanças climáticas de 285,34 kgCO<sub>2</sub>-Eq (Figura 2) onde a resina, é responsável pelo maior impacto. Quando analisada a toxicidade humana, obteve-se um total de 21,24 kg 1,4-DCB-Eq (Figura 3).

Quando analisado o sistema por completo, o Cenário 1 demonstrou grande potencial de redução dos impactos ambientais em ambos os quesitos avaliados (Figura 4), apresentando redução de impacto para mudanças climáticas 84,12% e em relação a toxicidade humana a redução do impacto foi de 99,88% conforme Figura 4.

Figura 2 – Impactos ambientais na categoria de mudanças climáticas

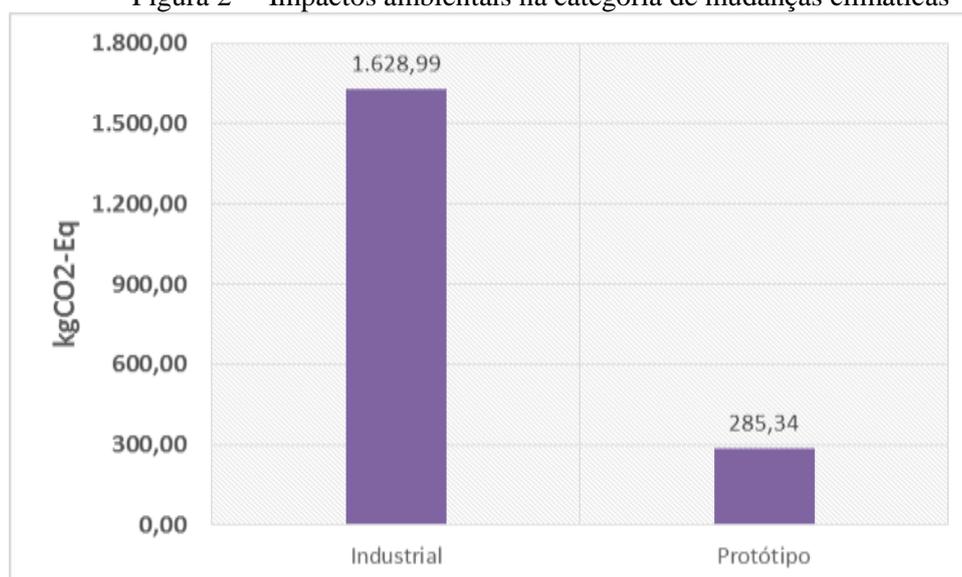
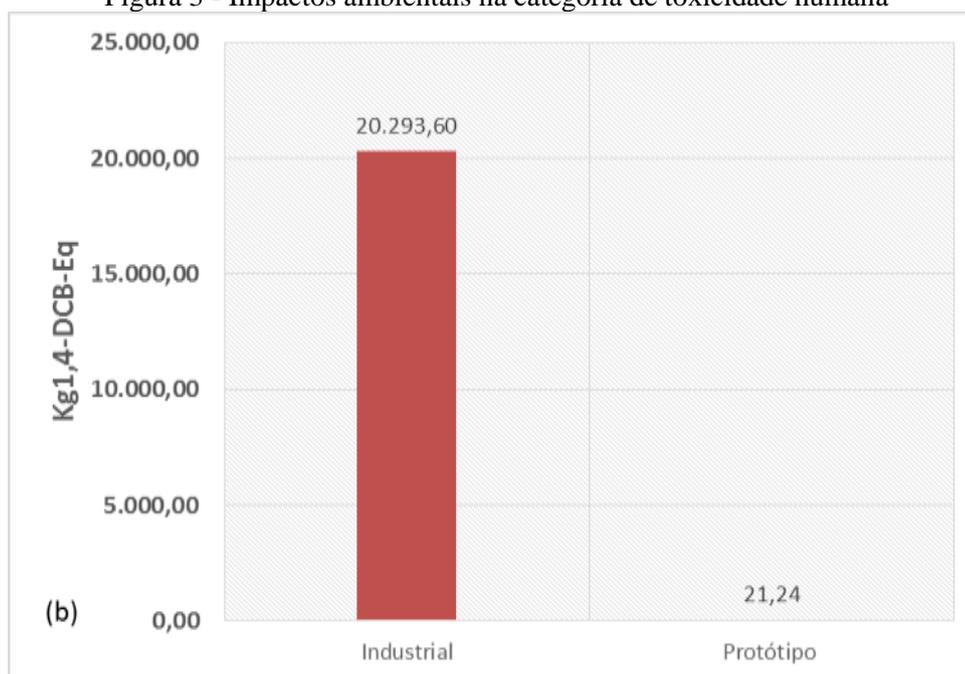


Figura 3 - Impactos ambientais na categoria de toxicidade humana





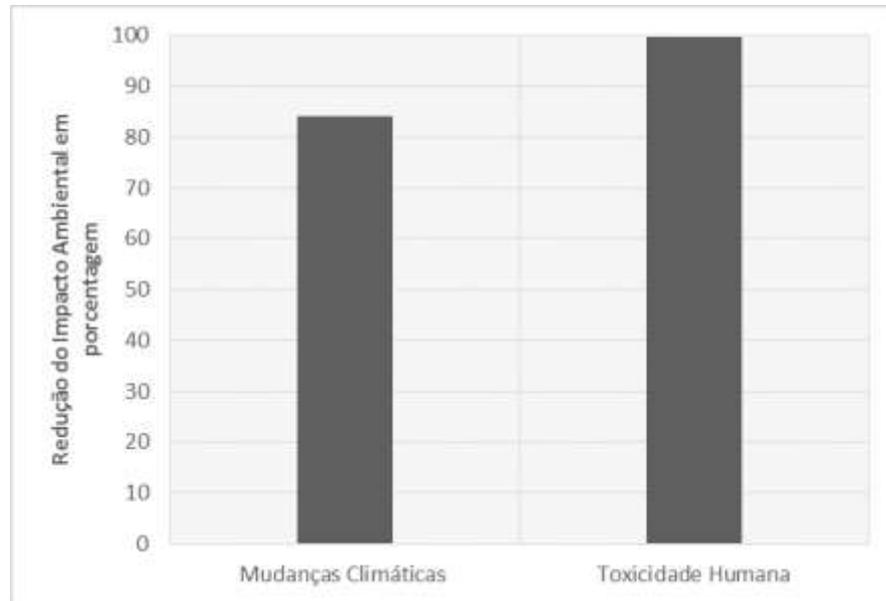
11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

**Figura 4 - Redução dos impactos no cenário modificado com as melhorias do projeto**



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi realizada a Análise do Ciclo de vida comparativa entre dois reservatórios de sistemas de aquecimento solares de água, sendo um deles da empresa Centersol (Cenário 0) e o outro elaborado na UNISC (Cenário 1), este composto por compósito de resina ortoftálica mármore agregada de partes aéreas de girassol. Observou-se que o Cenário 1 apresentou redução de 88,12% em impactos relacionados com mudanças climáticas e 99,8% em impactos de toxicidade humana, mostrando grande diminuição nos impactos relacionados a produção do sistema de aquecimento solar de água. Ainda, através da análise do ciclo de vida verificou-se que o material de maior impacto dentro do sistema comercial é o aço. Ressalta-se que o material compósito utilizado na fabricação do boiler no sistema modificado, foi o maior responsável pela diminuição dos impactos associados ao sistema, mantendo as características físicas e mecânicas necessárias para este tipo de uso, bem como a eficiência térmica exigida do material isolante. Salienta-se ainda que além de reduzir custos na produção mantendo competitividade econômica, agrega resíduos agrícolas gerando valor aos mesmos.

### REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas ABNT NBR ISO 14040: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.**

ALVARENGA, C. A. **Energia Solar.** Lavras: UFLA / FAEPE, 2001.

BEZERRA, A M. **Como funciona um aquecedor solar de água,** 2007.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

BEZERRA, A. M. **Energia Solar: aquecedores de água**. Curitiba: Livraria Itaipu, 1982.  
CEMPRE. **Estatísticas do Cadastro Central de Empresas**. RJ, 2004.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997.

LIBRELOTTO, D. R.; SAID, J. **Aplicação de uma ferramenta de análise do ciclo de vida em edificações residenciais: estudos de caso**. (2008).

USEPA. **Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles**. Washington D.C. & Cincinnati: Office of Research And Development.

MOGAWER, T.; SOUZA, T. M. **Sistema solar de aquecimento de água para residências populares**. Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.

FILHO M., FRANK B. **Balço ambiental de processos como ferramenta para a gestão ambiental**. XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (2000): 111-112.

OLIVA, G. A; BORGES, T. P. de F. **Teste de Campo Piloto com Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, VII., 1996, Anais... Rio de Janeiro: COPPE; Clube de Engenharia, 1996. v. IV, p. 2087-2102.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375