

# RECICLAGEM DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: A BUSCA POR UM PROCESSO OTIMIZADO PARA O APROVEITAMENTO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO MÓDULO SOLAR

Alex Bassani <sup>a</sup>

[alex.b14@aluno.ifsc.edu.br](mailto:alex.b14@aluno.ifsc.edu.br)

Ana Beatriz Goeten <sup>a</sup>

[ana.g03@aluno.ifsc.edu.br](mailto:ana.g03@aluno.ifsc.edu.br)

Camila Laís Mohr <sup>a</sup>

[camila.m2005@aluno.ifsc.edu.br](mailto:camila.m2005@aluno.ifsc.edu.br)

Elisa dos Santos Calado Santana <sup>a</sup>

[elisa.scs01@aluno.ifsc.edu.br](mailto:elisa.scs01@aluno.ifsc.edu.br)

Fábio Gesser Rodrigues <sup>a</sup>

[fabio.gr2006@aluno.ifsc.edu.br](mailto:fabio.gr2006@aluno.ifsc.edu.br)

Flávia Luísa de Oliveira <sup>a</sup>

[flavia.l29@aluno.ifsc.edu.br](mailto:flavia.l29@aluno.ifsc.edu.br)

Stefany Cristine Venske <sup>a</sup>

[stefany.cv@aluno.ifsc.edu.br](mailto:stefany.cv@aluno.ifsc.edu.br)

Jaison Vieira da Maia <sup>b</sup>

[jaison.maia@ifsc.edu.br](mailto:jaison.maia@ifsc.edu.br)

## RESUMO

*O uso de energia solar para a geração de energia elétrica tem se intensificado cada vez mais, o que em contrapartida resulta em uma série de problemas relacionados aos resíduos dos módulos fotovoltaicos, devido a carência de um descarte correto para os mesmos. Visto isso, foram feitas tentativas para o desenvolvimento de uma metodologia para separar os componentes de um módulo fotovoltaico que é constituído de vidro, polímeros e metais. A proposta visa a reciclagem e o descarte adequado para tais materiais, e para tal foi testado a separação física e química. Dentre os experimentos, a hidrólise em refluxo com Hidróxido de Sódio 2 M apresentou os resultados mais significativos, separando em tempos de 2h e 6h aproximadamente 95,95% dos materiais macroscópicos do módulo fotovoltaico, sendo 82,42% vidro, 2,60% backsheet, 6,30% polímero e 4,63% metais internos e silício.*

**Palavra-chave:** Energia solar, módulo fotovoltaico, reciclagem.

## **ABSTRACT**

*The use of solar energy for electric energy generation has been increasingly intensified, which, in turn, results in a series of problems relating to residues of the photovoltaic modules due to the lack of a correct disposal method for them. That seen, attempts have been made for the development of a methodology to separate the components of a photovoltaic module which is constituted by glass, polymers and metals. The proposal aims at the recycling and the adequate disposal for such materials, and for this, physical and chemical separation have been tested. Among the experiments, the hydrolysis in reflux with 2 M Sodium Hydroxide showed the most significant results, separating, in times of 2 and 6 hours approximately 95,95% of the macroscopic materials of the photovoltaic module, 82,42% being glass, 2,60% backsheet, 6,30% polymer and 4,63% internal metals and silicon.*

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic module, recycling.

## **1 INTRODUÇÃO**

Módulos fotovoltaicos “são dispositivos sólidos capazes de converter energia da luz do sol em energia elétrica sem a necessidade de um motor térmico” (Dias, 2015, p. 11). O módulo solar é estruturado para ter estabilidade e eficiência. E assim conta com um caixilho externo para rigidez, sendo que abaixo dele está o vidro temperado protegendo as células fotovoltaicas e permitindo a passagem da luz solar, que atingem as células fotovoltaicas no centro, convertendo luz solar em eletricidade (Carneiro,2010).

Com o aumento da utilização de módulos fotovoltaicos para geração de energia elétrica, impulsionado pelo avanço tecnológico nas últimas décadas, surge a necessidade de desenvolver processos de destinação final eficientes para módulos fotovoltaicos danificados. Segundo Tonholi (2021, p. 39), “[...] mais de 78 milhões de toneladas de equipamentos fotovoltaicos serão acumulados mundialmente até 2050”, e um descarte inadequado pode prejudicar o meio ambiente (Tokarnia, 2021).

Entre os 3 R's (reduzir, reciclar e reutilizar) comumente utilizados na destinação final de resíduos eletrônicos, optou-se pela reciclagem, que consiste na transformação do material tanto de forma física como química. Assim, esse produto pode ser usado na forma original ou como matéria prima para outros materiais (Mafaldo, 2010).

Durante a pesquisa, foram explorados métodos de reciclagem dos módulos fotovoltaicos, com foco na separação de seus componentes. Inicialmente, foram realizadas

tentativas de separação física dos módulos inteiros, seguidas pela preparação de amostras para análise de separação química. Posteriormente, na primeira rodada de experimentos foram feitos testes utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) em diferentes concentrações e tempo de duração de hidrólises em refluxo.

Tendo em vista esse contexto, o principal objetivo deste trabalho foi buscar um processo otimizado de reciclagem de painéis fotovoltaicos, que leve em consideração não apenas os aspectos ambientais, mas também os econômicos, buscando uma solução viável e atrativa para um problema ambiental que tende a se agravar nos próximos anos.

## 2 METODOLOGIA

Inicialmente, foram abordadas tentativas de separação física do módulo fotovoltaico inteiro, seguidas pela preparação de amostras para análise e, novamente, uma tentativa de separação física. Posteriormente, foi realizada uma separação química, com testes preliminares incluindo o uso de soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), em diferentes concentrações e durações de hidrólises em refluxo.

Na separação física do módulo, a primeira tentativa consistiu na separação da moldura de alumínio utilizando ferramentas manuais como alicate, chave de fenda, martelo e uma esmerilhadeira. Em seguida, foram realizadas tentativas de remoção do vidro, também com ferramentas manuais.

Para as demais tentativas foram feitos cortes no módulo, formando pequenas amostras de aproximadamente 2 por 4 centímetros. Para essa etapa, uma esmerilhadeira com disco de corte para inox foi utilizada. Nas amostras realizamos também tentativas de separação física, utilizando ferramentas manuais e esmerilhadeira, tal qual foi feito com o módulo em sua integridade.

Posteriormente, atuou-se nas tentativas de separação química dos componentes, realizando testes preliminares<sup>1</sup> com uma hidrólise ácida usando ácido sulfúrico e hidrólise básica com o hidróxido de sódio.

Geralmente a hidrólise é usada para despolimerização (degradação de polímeros), que também é chamada de reciclagem química, pois quebram-se as macromoléculas do polímero formando moléculas mais simples (Souza, Torres, Filho, 2008).

---

<sup>1</sup> Testes iniciais com caráter exploratório. Testou-se concentrações diferentes, mas com tempos e temperaturas iguais, a fim de comparar as amostras ao final do processo, classificando e eliminando conforme sua eficiência.

Essas reações foram submetidas a um sistema de refluxo (Figura 1), que consiste em uma técnica utilizada para aquecer o solvente a temperatura de ebulição sem que haja perda dos reagentes ou solventes por evaporação.

**Figura 1** -Sistema de refluxo montado no laboratório do IFSC.

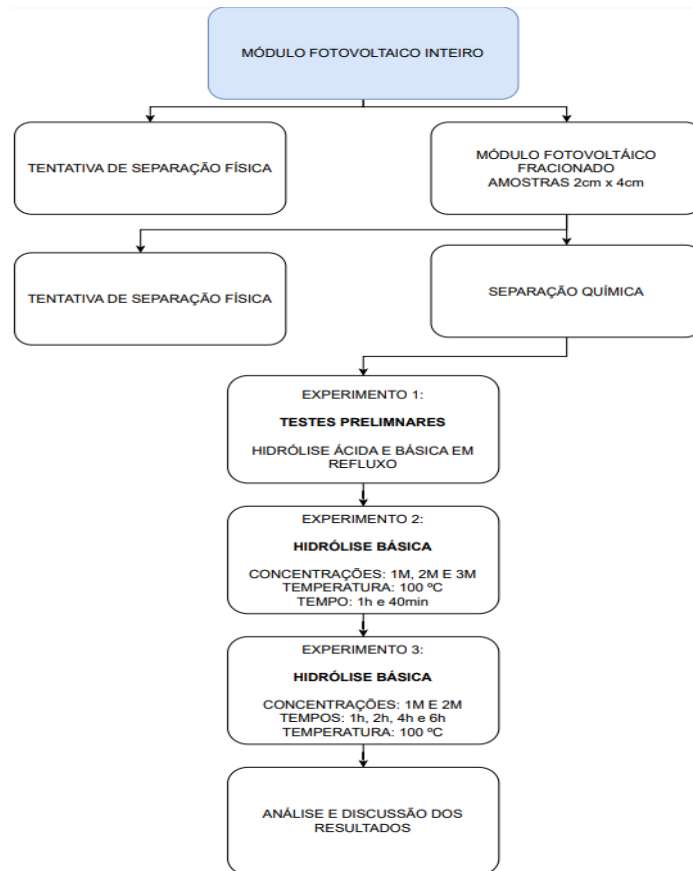


**Fonte:** Acervo dos autores, 2024.

Em seguida aos testes preliminares, buscou-se uma concentração otimizada, realizando os experimentos com NaOH nas concentrações de 1 M, 2 M e 3 M. Os testes foram conduzidos em intervalos de 1 hora e 40 minutos, mantendo a temperatura constante em 100 °C, com variações de  $\pm 3$  °C.

Com os resultados dos experimentos de 1 M, 2 M e 3 M, realizou-se nova rodada de experimentos, testando a concentração da base e tempo de hidrólise em refluxo, com temperatura constante. Assim, deixou-se 8 amostras imersas em hidróxido de sódio 1 M e 2 M (4 amostras para concentração de 1 M e outras 4 para concentração de 2M), por 1, 2, 4 e 6 horas, a uma temperatura de 100 °C, com variações de  $\pm 3$  °C. Ao término dos testes, realizou-se a quantificação dos componentes por massa em balança analítica para avaliar os rendimentos. Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma com a sequência dos testes e experimentos realizados.

**Figura 2:** Fluxograma de testes e experimentos.



Fonte: Autores, 2024.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresentam-se os resultados da tentativa de separação física e, posteriormente, os testes preliminares de separação química, dividida nas hidrólises ácidas e básicas e, por fim, os testes de hidrólise básica com as concentrações 1M e 2M para os diferentes tempos.

#### 3.1 SEPARAÇÃO FÍSICA

A primeira tentativa de separação testada foi a física, que consiste na separação de todo o módulo. Acreditou-se que seria possível a separação utilizando-se ferramentas manuais. Já num primeiro momento, no caso da separação da moldura de alumínio, o uso de uma esmerilhadeira se mostrou como única maneira possível frente às ferramentas e equipamentos testados. A Figura 3 demonstra um corte feito no módulo por meio da esmerilhadeira e, conseqüentemente, consegue-se visualizar as diferentes camadas que o compõem, como os metais, o *backsheet*, o polímero e o vidro. Portanto, a separação com a

esmerilhadeira não foi eficaz, especialmente pelo desgaste rápido do disco, por não ser apropriado para o material e por não encontrarmos no mercado local discos para corte de vidro.

**Figura 3:** Camadas do módulo fotovoltaico.



**Fonte:** Acervo dos autores.

Vale destacar que, ainda tentando realizar a separação física, foram feitas tentativas utilizando o estilete, martelo e chaves de fenda. Porém, com a grande adesão entre as camadas dos materiais que compõem o módulo, nenhuma das tentativas produziu um resultado satisfatório, se obteve fragmentos, ou mesmo aglomerados de materiais, e nenhum deles poderia ser utilizado para reciclagem. Para a segunda tentativa de separação física, optou-se por utilizar amostras menores e, para tal, foram cortadas amostras de 2 por 4 centímetros aproximadamente (Figura 4). Os cortes foram feitos utilizando-se a esmerilhadeira, mesmo com o desgaste rápido dos discos, afinal, este foi o único meio viável de realizar cortes regulares encontrado. Mesmo em amostras menores, nenhuma das tentativas com equipamentos e ferramentas manuais produziram um resultado satisfatório.

**Figura 4:** Amostras cortadas com esmerilhadeira.



**Fonte:** Acervo dos autores.

Desta forma, nenhuma das tentativas de separação por métodos físicos se mostrou de fato viável. Diante disso, a tentativa de separação física limitou-se ao corte das amostras para

os testes de caráter químico.

Cabe destacar que, diferente do que se imaginava inicialmente, a forte adesão entre as camadas que compõem o módulo torna a separação dos componentes um desafio bastante grande. Afinal, o que se busca é mais que fragmentar o material. Com o intuito do projeto sempre foi a reciclagem, os materiais precisam estar devidamente separados, até porque se trata de materiais diferentes (vidro, polímeros, metais).

### 3.2 TESTES PRELIMINARES DE HIDRÓLISE ÁCIDA E BÁSICA EM REFLUXO

Inicialmente, foi realizada uma hidrólise em refluxo com  $H_2SO_4$  nas concentrações de 0,5M, 1M e 1,5M. No entanto, essa abordagem foi descartada já nos testes iniciais, pois não apresentou nenhuma separação dos componentes da amostra do módulo fotovoltaico.

Com base nesses experimentos, aprimorou-se a metodologia e foi desenvolvido um sistema de refluxo utilizando o NaOH. Após a realização dos experimentos nas concentrações 1M, 2M e 3M, houve a obtenção de resultados promissores e estabeleceu-se os parâmetros de processo a serem otimizados. Assim, foram realizados experimentos variando-se a concentração e, posteriormente, variando-se o tempo, conforme resultados apresentados na sequência.

### 3.3 HIDRÓLISE BÁSICA EM REFLUXO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NaOH

Ao analisar a separação das amostras após as reações com as concentrações de 1M, 2M e 3M de NaOH, observou-se que na hidrólise em refluxo com concentração de 3M a reação atacou quimicamente o vidro da amostra, embranquecendo o mesmo. Além disso, modificou as propriedades físicas do *backsheet* de uma camada elástica, lembrando uma borracha, para algo seco e quebradiço. Outra mudança ocorreu com os metais, que ficaram em uma granulometria pequena, dificultando sua separação.

Considerando isso, a opção de um refluxo com 3M foi descartada. Os processos de refluxo utilizando concentrações de 1M e 2M revelaram diferentes comportamentos na separação dos componentes da amostra. No refluxo com concentração de 1M observou-se a cisão em três partes distintas. A primeira consistia em vidro e cola, que permaneceram unidos após a reação e resistiram à separação manual depois de secos. A segunda parte era composta por metais, enquanto a terceira era de polímeros. No refluxo com concentração de 2M a amostra se separou em quatro partes distintas. O *backsheet*, o vidro, o polímero que fica entre os metais e o vidro, e a camada dos metais da célula solar.

A partir desses resultados, foi possível concluir pela análise visual que os refluxos com soluções de concentração 1M e 2M NaOH alcançaram o objetivo da tentativa preliminar de separação, demonstrando a possibilidade de serem processos úteis e funcionais no quesito da separação macroscópica dos materiais dos módulos fotovoltaicos. Diante destes resultados, seguiu-se o estudo da interferência da variável tempo na reação com concentrações de 1 M e 2 M de NaOH.

### 3.4 HIDRÓLISE BÁSICA EM REFLUXO COM CONCENTRAÇÕES DE NaOH 1 M e 2 M PARA DIFERENTES TEMPOS

Nesta etapa foi avaliado o efeito do tempo da hidrólise alcalina em refluxo na eficiência do processo, em quatro intervalos de tempo distintos: 1 hora, 2 horas, 4 horas e 6 horas, em concentrações 1M e 2M de NaOH, totalizando oito experimentos.

O refluxo com NaOH com concentração de 2 M apresentou quantidades maiores de massa separada dos quatro materiais avaliados (*backsheet*, metal, vidro e polímeros) para a maioria dos tempos testados quando comparado a concentração de 1 M. A seguir, a Figura 5 mostrando as massas separadas segundo a concentração e o tempo.

**Figura 5:** Tabela com as quantidade das massas separadas de cada material obtidos com os refluxos 1M e 2M

<b>METAL</b>	Massa separada - 1M	Massa separada - 2M
1H	0,0000	0,0000
2H	0,0000	0,0188
4H	0,0000	0,0134
6H	0,0149	0,0079

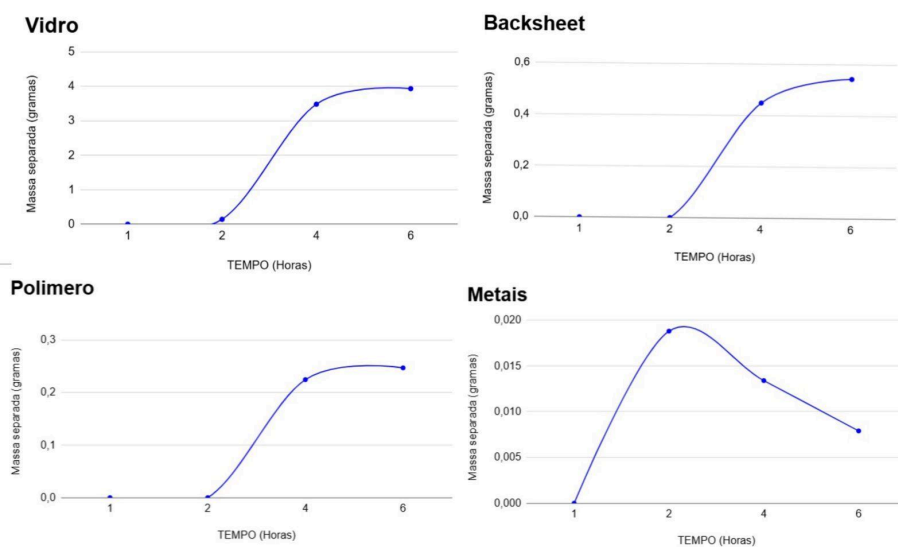
<b>BACKSHEET</b>	Massa separada - 1M	Massa separada - 2M
1H	0,0000	0,0000
2H	0,0000	0,0000
4H	0,0000	0,4487
6H	0,0000	0,5436

<b>VIDRO</b>	Massa separada - 1M	Massa separada - 2M
1H	0,2237	0,0000
2H	0,0000	0,1417
4H	0,1434	3,4816
6H	0,3835	3,9332

<b>POLÍMERO</b>	Massa separada - 1M	Massa separada - 2M
1H	0,0000	0,0000
2H	0,0000	0,0000
4H	0,0000	0,2243
6H	0,0000	0,2469

Partindo dos resultados em que a concentração de 2 M se mostrou mais eficiente quanto a separação das massas, optou-se por plotar os gráficos apresentados na Figura 5. Nos quatro gráficos o eixo das abscissas (x) representa a variação de tempo em horas, ou seja, a duração da hidrólise, e no eixo das ordenadas (y), contempla os valores em gramas das massas separadas na hidrólise em refluxo de NaOH com concentração de 2 M.

**Figura 5** - Gráficos dos materiais separados (variação de massa versus tempo de reação).



**Fonte:** Autores, 2024.

É importante destacar que a linha azul exibida no gráfico é uma linha para seguir com os olhos a fim de facilitar a leitura do gráfico, e não necessariamente representa os resultados no eixo das ordenadas ao longo do tempo.

Ao analisar os gráficos, observa-se um aumento significativo na quantidade de massa separada de vidro, *backsheet* e polímero entre 2 e 4h de hidrólise, com uma aparente estabilização desse valor entre 4 e 6h.

A mistura de metais que constitui a célula solar, separada pela hidrólise, pode ser observada na Figura 6. Este material tem um comportamento distinto dos demais no que diz respeito à variação do tempo. Esse fenômeno pode ser atribuído, em grande parte, à redução da granulometria dos mesmos (metais) ao decorrer da reação, resultando conseqüentemente em uma diminuição da massa separada, provavelmente pela sua dissolução ao longo da reação.

**Figura 6:** Amostra dos metais separados ao final de uma hidrólise de NaOH de 2 M em 4 horas



**Fonte:** Acervo dos autores.

O tempo ideal para se obter a maior quantidade de separação apenas do metal, utilizando este método e os parâmetros testados, seria de 2 horas. Para a separação dos outros componentes recomenda-se o tempo de 4 a 6 horas em meio reacional. Contudo, não se descarta a possibilidade de um estudo futuro que investigue uma interrupção do refluxo após 2 horas para a retirada do metal, seguido da continuação do processo por mais 4 a 6 horas para a separação dos outros componentes.

Foram buscadas referências bibliográficas sobre a porcentagem mássica de cada material presente nos módulos fotovoltaicos, as quais foram adaptadas matematicamente através de uma regra de três inversamente proporcional, considerando os materiais analisados neste estudo, e a suas proporções (Tabela 1). Portanto, o que não compunha as amostras utilizadas nos experimentos foi descartado, ou seja, a moldura de alumínio e conectores. Em

resumo, a ideia foi fazer uma correlação entre a referência utilizada e as amostras testadas neste trabalho.

**Tabela 1** - Percentuais em massa, adaptados conforme literatura, dos materiais dos módulos fotovoltaicos.

<b>Componentes</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Vidro	82,42
<i>Backsheet</i>	2,60
Polímero	6,30
Metais internos e silício	4,63

**Fonte:** Adaptado de Oliveira *apud* Prado, 2021.

Quando adotada essa referência (Tabela 1) e comparadas as duas condições: 2 horas para a separação do metal e 6 horas para os demais materiais, percentualmente obteve-se os seguintes resultados: 76,07% vidro, 4,77% de polímero e 10,51% de backsheet.

Ocorrem algumas contradições comparando a referência com os dados práticos, as quais podem ser justificadas. Por exemplo, no caso do vidro pode haver uma variação para as diferentes marcas do módulo, podendo variar a sua espessura e, assim, alterar a sua porcentagem final. Quanto ao polímero, a referência achada tratava-se de um módulo com dupla camada de polímero, trazendo consigo uma porcentagem maior deste material. No experimento, o backsheet, ao ser separado, levou consigo o material condutor que integra uma quantidade significativa dos metais internos e o silício, fazendo com que a porcentagem do backsheet ficasse maior e a dos metais menores, como pode ser observado nas medidas dos metais na hidrólise por 2h, que obteve-se 3,4% de metal separado. Adicionalmente, a divergência pode ser atribuída ao fato de que parte desses componentes, que possuem massa menor em comparação à massa total, se dissolve no processo de reação. A confirmação dessa dissolução só poderia ser realizada por meio de caracterização microscópica no solvente ao final do processo, o que não foi realizado neste projeto.

Com isso, devido à diversidade de modelos de módulos fotovoltaicos, com diferentes quantidades de polímeros, metais e variadas marcas, as porcentagens podem variar, o que impede uma comparação direta, inviabilizando determinar com exatidão a quantidade recuperada de cada material.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi estudada a viabilidade e a possibilidade da separação dos componentes de um módulo fotovoltaico por meio físico e químico, almejando a possível reciclagem desses materiais.

No que diz respeito às tentativas de separação física, tanto do módulo inteiro como de amostras menores (2 cm x 5 cm), o teste com ferramentas e equipamentos manuais se mostrou inviável. Os resultados atingidos levaram apenas a fragmentação de pedaços, e não a separação dos materiais. Logo, a reciclagem seria inviável por obtermos apenas pedaços menores com mais de um material misturado. Sugere-se, portanto, que em estudos futuros, o uso de moagem buscando granulometria reduzida e possível separação por densidade.

Quanto às tentativas de separação química, os resultados alcançados foram satisfatórios e mostraram que existe possibilidade de separação via hidrólise com NaOH em refluxo. Entre os parâmetros testados, as melhores condições foram registradas em meio alcalino com concentração 2M de NaOH. Nesta concentração, para o tempo de 2 horas, obteve-se a maior quantidade de metal separado. Já para o tempo entre 4 e 6 horas, obteve-se as maiores quantidades de vidro, polímero e backsheet separados.

Vale salientar que devido ao tempo para a execução da parte prática do projeto, o trabalho limitou-se a separar os materiais da amostra do módulo, seguindo uma análise macroscópica e quantificação mássica, não havendo tempo para análise das amostras por meio de outras técnicas de caracterização.

Com os resultados encontrados em meio reacional de hidrólise em refluxo de NaOH, percebe-se que há potencial neste estudo visando uma escala industrial de reciclagem. O que poderia ajudar muito na análise quanto à sustentabilidade da metodologia proposta seria um estudo quanto à possibilidade de reaproveitamento do NaOH.

Por fim, torna-se evidente que o estudo aponta caminhos viáveis para a separação dos componentes constituintes do módulo fotovoltaico e, ao longo do projeto, percebeu-se claramente que o descarte dos módulos danificados é um problema real, conforme destacado por duas empresas que foram contatadas. Certamente o problema crescerá exponencialmente nas próximas décadas, quando muitos dos equipamentos que estão sendo instalados chegarem ao fim de sua vida útil.

## REFERÊNCIAS

CARNEIRO, Joaquim. **ELECTROMAGNETISMO B MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÕES**. 2010. 36 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Física, Universidade do Minho, Azurém, 2010. Disponível em: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf) Acesso em: 20 maio 2023.

MAFALDO, Melissa Fernandes Geraldo. **Ensinando técnicas de reciclagem, reutilização e redução dos resíduos sólidos urbanos para alunos do 4º ano do ensino fundamental, da E.E.E.F. eduardo vargas em alegrete/RS**. 2010. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Educação Ambiental – Ead, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12390>. Acesso em: 24 maio 2023.

OLIVEIRA, Elaine Vieira de. **Processos de reciclagem de módulos fotovoltaicos de primeira geração**. 2021. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65187>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SOUZA, Luiz Di; TORRES, Maria Conceição; FILHO, Adhemar C. Ruvolo. **Despolimerização do Poli (Tereftalato de Etileno) - PET: Efeitos de Tensoativos e Excesso de Solução Alcalina**, Departamento de Química, UFSCar. São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/87KYphSyCTF7ytjBkbhGY9M/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 13 nov. 2023.

TONHOLI, Franciscara. **Ciclo de vida de painéis fotovoltaicos: recuperação do vidro como alternativa ao descarte**. 2021. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26281/1/paineisfotovoltaicosvidrosreciclagem.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

DIAS, Pablo Ribeiro. **Caracterização e Reciclagem de Materiais de Módulos Fotovoltaicos (Painéis Solares)**. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127924/000973954.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 jul 2024.

SILVA, Gabriel Francisco da; *et al* (org.). **ENERGIAS ALTERNATIVAS: tecnologias sustentáveis para o nordeste brasileiro**. Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2019. 316 p. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12621/2/EnergiasAlternativas.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2024.