

FERREIRA, André dos Santos [1]

FENATO, Alexandre Junior [2]

FERREIRA, André dos Santos; FENATO, Alexandre Junior. Potencial Impacto Ambiental Fotovoltaica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 228-242, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959

## Contents

- Resumo
- 1. Introdução
- 2. Ciclo PV e produtos químicos
- 3. FABRICAÇÃO DE Silício
- 3.1 Redução de Sílica
- 3.2 Purificação do Silício
- 3.3 Silício Cristalino (c-Si)
- 3.4 Materiais Perigosos Usados no Processamento de Si
- 3.5 Fotovoltaica RECICLANDO MATERIAIS PERIGOSOS
- Conclusão
- Abreviações
- REFERÊNCIAS

## Resumo

Os padrões de vida atuais apresentam uma dependência e uma demanda cada vez maior de energia, principalmente elétrica. Contudo, para gerar energia elétrica existem processos na fabricação de componentes fundamentais que contribuem negativamente com o meio ambiente. A eletricidade produzida a partir de painéis solares fotovoltaicos é limpa e isenta de carbono em comparação com a produção de eletricidade baseada em combustíveis fósseis. Recentemente o interesse comum da sociedade vem motivando o desenvolvimento e a implantação de sistemas de geração baseados em fontes renováveis, e mudanças importantes já podem ser observadas mundialmente. Neste contexto, este artigo tem por

objetivo apresentar uma visão geral do ciclo de vida e aspectos que envolvem a energia fotovoltaica em relação a poluição gerada apresentando alguns processos, para encontrar uma maior eficiência na fabricação dos módulos.

Palavras-Chave: Energias Renováveis, Impacto Ambiental, Energia Fotovoltaica.

## 1. Introdução

Com o aumento da tecnológica na qual estamos vivendo, apresenta-se grandes desafios com relação sustentabilidade, e a mesma pode ser mencionada sob as mais diversas formas. Desde os primatas o homem já extraia da natureza os meios necessários para se satisfazer das suas necessidades ou realizar suas atividades, quase todas as vezes considerando a natureza como uma fonte sem fim de recursos.

A eletricidade produzida a partir de painéis solares fotovoltaicos (PV) é limpa e isenta de carbono em comparação com a produção de eletricidade baseada em combustíveis fósseis. Os painéis fotovoltaicos são seguros e não produz emissões tóxicas de gases ou gases efeito estufa (GEE). Contudo, tornar PV como produto através das matérias-primas para a produção de células solares envolve muitos materiais potencialmente de risco ambiental, para saúde e segurança (RAND et al., 2007).

Em análise do ciclo de vida dos produtos nos últimos anos, levantou mais preocupações sobre materiais perigosos e sua reciclagem e eliminação, mesmo após 25 anos. A maioria das tecnologias das células solares estão usando produtos químicos perigosos para obter maiores eficiência de conversão. A limpeza dos materiais, geralmente determina a eficiência de conversão das células e painéis solares. As células solares mais eficientes são de células solares cristalinas únicas, que precisam de grandes esforços tóxicos e uso químico. Os processos envolvidos na fabricação de chips de silício têm muitos materiais perigosos. A extração de matérias-primas para PV à base de silício; PV fino (TF) PV (CdTe, CIGS, InGaAs, etc.) no mesmo tempo, tecnologias emergentes de produção de PV solar, como células solares orgânicas e as células solares da perovskite também estão envolvidas com saúde e meio ambiente, desconhecidos os perigos. Independentemente das tecnologias PV específicas, a PV pode gerar 89% de potencial a menos de emissão de ar prejudicial por

quilowatt-hora do que o combustível fóssil convencional (FTHENAKIS; KIM; ALSEMA, 2008).

A produção de células fotovoltaicas envolve perigos químicos relacionados aos materiais toxicidade, corrosividade, inflamabilidade e explosividade (FTHENAKIS et al., 2011).

## 2. Ciclo PV e produtos químicos

O diagrama de processo de visão geral simplificado (Fig. 01) ilustra a chave básica, etapas envolvidas no ciclo de vida do PV. O ciclo de vida da PV é um quadro para considerar as entradas e saídas ambientais de um produto ou processo a partir do berço para sepultura (FTHENAKIS; KIM, 2011). A produção de PV industrial em escala depende das seguintes áreas principais e desenvolvimento de produtos:

2. Mineração e refinação de matérias-primas em direção aos requisitos necessários de estoque de materiais fotovoltaicos: os principais perigos são a exposição e a inalação de poeira (TOBERGTE; CURTIS, 2013).

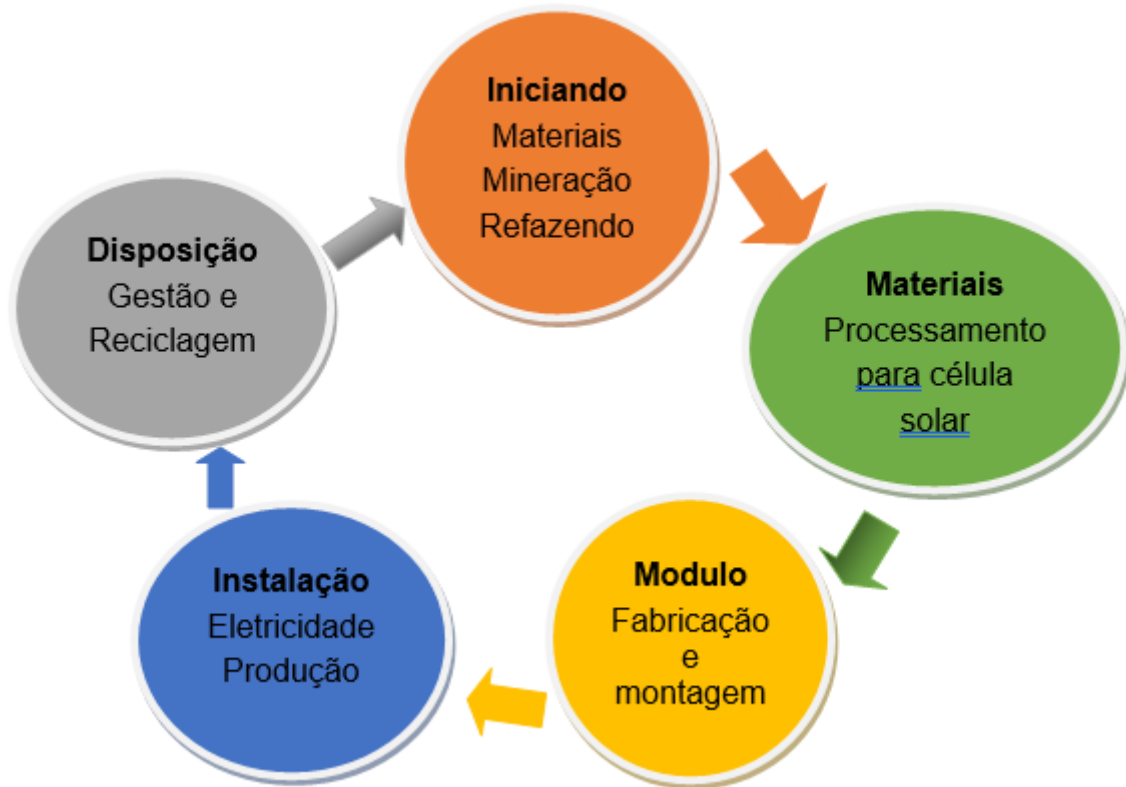


Figura - 01 Visão geral do processo de materiais células solares PV e ciclo de vida. Fonte: Autoria própria (2017)

3. Processamento de materiais: as tecnologias PV usam muitos materiais perigosos durante o processo de fabricação que pode ser classificado como potencial ambiental e problemas de saúde de exposição ao corte de lingotes de silício em bolachas, e exposição a solventes, como ácido nítrico, hidróxido de sódio e hidrófluorico, ácidos utilizados na corrosão e limpeza de bolachas, bem como na limpeza do reator (RAUGEI; BARGIGLI; ULGIATI, 2007).
5. Desenvolvimento do produto: esta etapa envolve a soldagem de células solares, dispostas em módulo e montagem completa com várias outras camadas, como placa traseira, materiais vedantes, vidro de transmissão temperado elevado, conexões elétricas e enquadramento do módulo. Esses processos envolvem riscos para a saúde ocupacional (FRANGOPOULOS; RAKOPOULOS; TSATSARONIS, 2008).
7. 04 Instalação e produção de eletricidade: os produtos disponíveis serão instalados em telhados de edifícios ou em usinas de energia. (FTHENAKIS et al., 2011).

As análises do ciclo de vida dos módulos solares incluem a reciclagem dos módulos, depois da sua vida útil. Houve muitas análises do ciclo de vida publicadas até o momento. O Projeto de Harmonização da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) liderado pelo National o Laboratório de

Energia Renovável (NREL) sugeriu formas harmoniosas de análise as emissões de GEE de ciclo de vida para sistemas fotovoltaicos. Até agora, muitos estudos relataram em silício cristalino (c-Si) (monocristalino e multicristalino) e TF [Silício amorfo (a-Si), telurídeo de cádmio (CdTe) e cobre-índio diselenida de gálio (CIGS)] que foram analisados pela NREL (FTHENAKIS et al., 2011).

### 3. FABRICAÇÃO DE Silício

A produção de células solares à base de silício, começou a partir da indústria da microeletrônica. O conhecimento de fazer bolachas de silício foi adotado principalmente pela microeletrônica. Diferentes métodos foram adotados para fabricar silício. A qualidade, pureza do silício irá decidir o processo. De acordo com a pureza disponível, podemos classificar o silício em grau metalúrgico e grau de semicondutor. O silício de qualidade metalúrgica (MG-Si) pode ser aproximadamente puro até 99,6% e os dispositivos semicondutores precisam ser muito mais puros. A pureza do silício é conseguida através de uma série de processos químicos (HSU et al., 2012).

Com frequência, três etapas básicas estão envolvidas na produção de silício, como a redução e sílica, resfriamento, esmagamento e embalagem. O primeiro e principal passo em a conversão de areia em silício é a redução. A Seção 3.1 discutirá os diferentes métodos de redução de sílica disponíveis (HSU et al., 2012).

#### 3.1 Redução de Sílica

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é um material de partida para silício, que é areia ou quartzo. A remoção de oxigênio ou redução de sílica em silício é um passo de processamento chave na produção de silício. FIG. 02 mostra os diferentes métodos utilizados para reduzir a sílica ao silício. MG-Si é o material de partida para produzir silício puro para aplicações fotovoltaicas e eletrônicas. O silício é produzido industrialmente por carbotérmico redução de sílica em fornos elétricos de arco submerso. Os outros processos são raramente utilizados na fabricação de silício em escala industrial. Aqui consideramos apenas o processo de redução carbotérmica. O processo pode ser escrito simplesmente como:

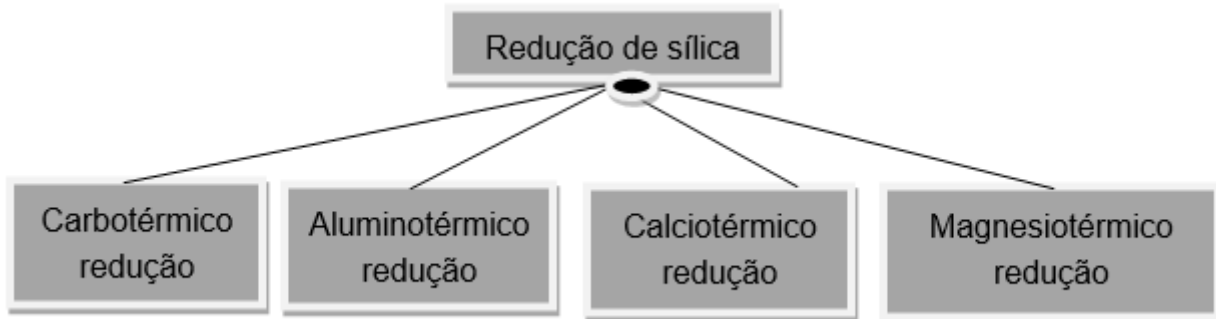


Figura 02 - Diferentes métodos de redução de sílica. Fonte: Autoria própria (2017)

O processo carbotérmico inclui fonte de silício e agentes de redução de coque, carvão e carvão de madeira. Este método levará a 99,0% em peso de Si e outras impurezas, tais como Fe, Al, Ti, Mn, C, Ca, Mg, B, P, e assim por diante. As impurezas serão removidas através de processos químicos adicionais para resultar em silício de alta pureza para aplicações solares e eletrônicas (WEBER; PAROUS; OLIVEIRA, 2013).

A redução da sílica pelo carbono é altamente endotérmica e precisa de um alto nível temperatura de processamento. A redução de sílica com carbono em um típico industrial forno tem um diâmetro de casca de cerca de 10 m como mostrado em FIG. 03. Os eletrodos de carbono submergidos no material de carga e aquecem a cerca de 2000°C para formar silício fundido. O silício fundido é uma forma reduzida de dióxido de silício. O processo de remoção de oxigênio normalmente foi feito através de processo de alta temperatura (2000°C) para reduzir a sílica ao silício fundido. Este processo geralmente é feito através de um tratamento de escória ou purga de gás. Isso levará a silício puro sem partículas de óxido e de carboneto (WEBER; PAROUS; OLIVEIRA, 2013).

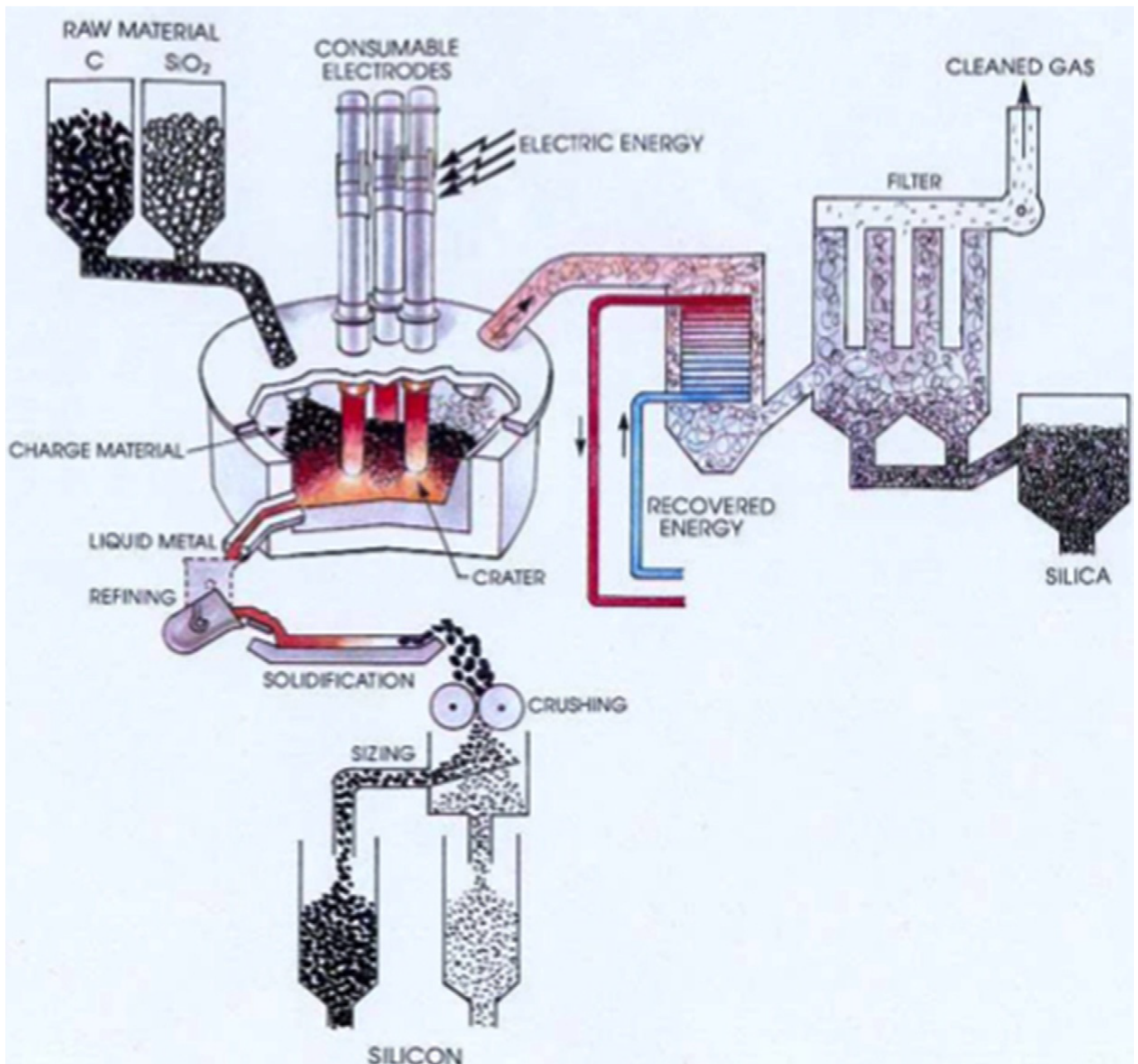


Figura 03 - Esquema da planta de produção de silício metálico. Fonte: John Wiley e filhos (2012)

A liga fundida é deixada arrefecer num molde adequado para atingir um tamanho específico. Durante o processo de refinação, o gás utilizado para purga tem elementos tóxicos após as suas filtrações, principalmente dióxido de enxofre (WEBER; PAROUS; OLIVEIRA, 2013).



### 3.2 Purificação do Silício

A purificação do silício é feita principalmente através de uma abordagem química. A maior pureza do silício é conseguida através da redução e pirólise de compostos voláteis tais como  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{SiCl}_4$  e  $\text{SiHBr}_3$ . Isto é conhecida como tecnologia de cloreto-hidreto. Os métodos de purificação utilizando a gaseificação de MG-Si e a deposição de silício foi estabelecida na década de 1950 e conhecido como o processo da Siemens (DE CARVALHO; MESQUITA; ROCIO, 2014).

### 3.3 Silício Cristalino (c-Si)

O material de partida para a produção de bolachas c-Si e chips de silício é a sílica ( $\text{SiO}_2$ ). No entanto, o silício para uso em semicondutores deve ser muito mais puro. Intenso processamento químico é envolvido para fazer o MG-Si em grau de semicondutor silício. Normalmente, MG-Si é exposto a ácido clorídrico e cobre para produzir um triclorossilano gasoso ( $\text{HSiCl}_3$ ). O triclorossilano gasoso é então destilado para remover os metais clorados como impurezas prevaletentes que permanecem no processo. O processo é seguido por uma redução com hidrogênio para produzir silano ( $\text{SiH}_4$ ) gás. O gás silano é aquecido adicionalmente para crescer cristais de silício monocristalino. As hastes de silício monocristalino são esmagadas depois de serem retiradas do forno para introduzi-los no reator a alta temperatura e alta pressão. O gás silano é usado para depositar silício adicional sobre as hastes para crescer o diâmetro desejado. Para o silício multicristalino, é vertido em cadinhos e arrefecido em blocos ou lingotes. A pureza dos cristais de silício é extremamente puro (de 99.99999% a 99.9999999%) para microchips e outros eletrônicos uso da indústria. Todo o processo envolve uma intensidade intensiva de energia e Processo caro com grande quantidade de produção de resíduos. Estima-se que 80% do MG-Si inicial está perdido no processo. A pureza do silício decide as formas de refinar e métodos para purificar. Comparado ao processo de silício monocristalino único, outro silício graus, como o silício multicristalino ou amorfo, adotam menos produtos químicos meio Ambiente (DE CARVALHO; MESQUITA; ROCIO, 2014).



### 3.4 Materiais Perigosos Usados no Processamento de Si

A sílica é extraída para uso em diferentes propósitos. A maioria da sílica é usada na indústria siderúrgica e uma pequena fração está indo para as indústrias de semicondutores e PV. O principal material perigoso na mineração e produção de bolacha c-Si é poeira. O pó de resíduos c-Si é chamado de kerf e até 50% é perdido no ar e na água utilizada para enxaguar wafers (MARKVART; CASTAÑER, 2003). A mineração de sílica de qualidade metalúrgica pode produzir poeira de sílica, o que pode levar a doenças pulmonares severas. Embora nenhum problema de saúde pública tenha sido identificado com tecnologias de silício, os problemas ambientais são identificados. As questões ambientais estão relacionadas a geração de resíduos líquidos e sólidos durante o corte de bolachas e a corrosão, e processamento e montagem de células solares (STOHS, 2011). Questões relacionadas à saúde durante o processamento e tratamento químico são enormes nesta tecnologia. O gás silano é o mais perigoso na produção e extremamente explosivo. As indústrias de semicondutores relataram vários acidentes liberação de silano ao longo dos anos (FTHENAKIS; KIM; ALSEMA, 2008). O silício o cloreto de tetra ( $\text{SiCl}_4$ ) é extremamente tóxico quando reage com a água e provoca queimaduras na pele e irritações. Não há regulamentos ambientais disponíveis para este material extremo perigoso para o meio ambiente (MARKVART; CASTAÑER, 2003). Lá são fortes regulamentos no uso de hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) da Inter governamental painel de Mudanças climáticas (IPCC). É classificado como um dos mais potentes GEE por molécula; como uma tonelada equivale a 25 mil toneladas de  $\text{CO}_2$ . Pode criar chuva ácida ao reagir com o silício para gerar tetrafluoreto de silício ( $\text{SiF}_4$ ) e difluoreto de enxofre ( $\text{SF}_2$ ), ou ser reduzido a tetrafluorosilano ( $\text{SiF}_4$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) (MASINI, 2014).

Fluoreto, nitrogênio, oxigênio, fósforo, oxicloreto de fósforo e lata são usados na linha de produção (FTHENAKIS; KIM, 2011). Além de cristalino e monocristalino silício, silício multicristalino também requer produtos químicos especiais com procedimentos especiais de manuseio e operação, incluindo amônia, catalisador de cobre, diborano, acetato de etilo, acetato de etilo e vinil, hidrogênio, peróxido de hidrogênio, íon catalisador de amina, nitrogênio, trióxido de silício, cloreto estânico, pentóxido de tântalo, titânio e dióxido de titânio (MASINI, 2014).

Os materiais de silício amorfo (a-Si) são frequentemente utilizados em células solares TF e painéis fotovoltaicos. Os materiais base ou substrato são de metal, vidro, plástico e fino.

bolachas. O a-Si utiliza silano ou gás clorossilano aquecido e misturado com hidrogênio.

Vários acidentes envolvendo explosões de gás silane foram relatados no passado (ALSEMA; NIEUWLAAR, 2000). Outro gás explosivo utilizado no processo é hidrogênio e geralmente misturado com metano para reciclar o hidrogênio em fluxos de resíduos. O metano também é um potencial GEE e uma potencial ameaça para o meio ambiente se for lançado. Os dopantes utilizados no a-Si, como o gás Germane, são considerados como ser tóxico e danificar o sangue e os rins (MONTROYA, 2014). Os outros produtos químicos perigosos, como ácido clorídrico, ácido fluorídrico, ácido fosfórico, hidróxido de sódio, acetona, alumínio, clorossilanos, diborano, fosfina, isopropanol, nitrogênio, tetrafluoreto de silício, estanho, germânio, e o tetrafluoreto de germânio usado no processo precisa de um tratamento especial para evitar lesão profissional (MASINI, 2014).

### 3.5 Fotovoltaica RECICLANDO MATERIAIS PERIGOSOS

Os produtos fotovoltaicos contêm, não apenas materiais para células solares, mas também eletrônicos resíduos. A reciclagem dos produtos fotovoltaicos tem o desafio de reciclar materiais em partes de células solares e outros eletrônicos separadamente. Os painéis solares, deixará os materiais tóxicos como resíduos eletrônicos em aterros, onde eles podem lixiviar águas subterrâneas e ar (GREENPRO, 2004).

### Conclusão

As toxicidades relacionadas ao PV e os impactos ambientais podem ser classificados em três estágios como (i) nível de materiais, (ii) nível do sistema e (iii) nível de reciclagem.

(i) Materiais: as tecnologias mais eficientes, como o silício, o CdTe são baseadas em processamento de materiais tóxicos de alto nível que tenham o pior efeito quando eles estão expostos a seres vivos ou durante o processamento. Pesquisa adicional sobre reciclagem, utiliza materiais diferentes e é ambiental as rotas de fabricação que utilizam menos recursos naturais devem ser feitas.

(ii) Sistema: os aspectos de engenharia das tecnologias PV devem ser refinados para usar

recursos mínimos.

(iii) Reciclagem: esta é uma parte muito importante dos materiais fotovoltaicos para reutilizar o máximo dos recursos. Os métodos de reciclagem relacionados ao aspecto do material devem ser implementados.

As preocupações ambientais são um medo de exposição, saúde e ambientes

Piorando. Os materiais semicondutores de mais eficiência são de um jeito ou outros relacionados ao processamento tóxico e ao nível de toxicidade usado no processamento materiais de energia solar são surpreendentes. Manipulação e reciclagem de materiais tóxicos adequados seria um caminho a seguir para tornar as tecnologias de energia limpas em menos emissões de gases com efeito estufa e mais ecológicos. As políticas de fabricação e a reciclagem deve ser devidamente proposta para tornar as tecnologias menos tóxico. Isso pode ser feito através de implicações de políticas industriais globais com as autoridades locais são o caminho a seguir para criar tecnologias de energia renovável mais viável.

Além das toxicidades relacionadas ao silício, a percepção de toxicidade do constituinte

Elemento Cd, que é usado na forma de um composto estável em módulos TF, muitas vezes levantaram problemas, como os riscos ou perigos no manejo da tecnologia CdTe estão associados aos materiais utilizados durante o processamento e fabricação das células solares CdTe / CdS e CdS / CIGS, juntamente com os riscos associados durante o tempo de vida útil do berço para seu fim desses módulos. O ambiente e problemas de risco para a saúde dos módulos solares CdTe têm sido amplamente investigados por várias agências independentes, incluindo os laboratórios da Europa e Estados Unidos, embora a tecnologia CdTe não tenha possibilidade de eliminar Cd, há alguma capacidade de manobra na tecnologia CIGS na eliminação da camada tampão CdS muito fina (tipicamente 50 nm) e, portanto, a procura de uma camada alternativa de buffer está sendo perseguida com sucesso. Sucesso inicial já foi alcançado como células solares CIGS de 16-18,8% e módulos de 13,4% foram desenvolvidos com tampões alternativos "sem Cd". Recentemente, a co-evaporação do CIGS em um processo in-line de um estágio é usada para fabricar dispositivos de células solares com eficiência de conversão de até 18,6% usando um buffer CdS camada e 18,2% usando uma camada tampão  $Zn_{1-x}Sn_xO_y$  (sem Cd). O cádmio é um subproduto da mineração de zinco,

chumbo e cobre. Constitui apenas 0,25% da sua matéria prima principal ZnS (esfalerita). O cádmio é liberado para o meio ambiente de fertilizantes fosfatados, combustíveis, mineração e operações de processamento de metais, produção de cimento e eliminação de produtos metálicos. Lançamentos de eliminados os produtos Cd, incluindo as baterias Ni-Cd, são contribuidores mínimos para exposição humana porque o Cd está encapsulado nas estruturas seladas. A maioria a exposição ao cádmio humano provém da ingestão e a maior parte disso se origina a absorção de cádmio pelas plantas, através de fertilizantes, lodo de esgoto, estrume, E deposição atmosférica. Embora a exposição a longo prazo ao cádmio elementar, um carcinógeno, tem efeito prejudicial nos rins e nos ossos, dados limitados existe em toxicologia. No entanto, o composto CdTe é mais estável e menos solúvel que elemento Cd e, portanto, provavelmente seja muito menos tóxico.

Considerando a produção de refinarias eletrolíticas de pós CdTe (de Cd resíduos de Zn, indústrias de ferro e aço) haveria uma emissão de 0,001% Cd emissão gasosa. Isso corresponderia a 0,01g/GWh, o que é significativamente menor em comparação com as percepções e hype criadas por alguns que estimá-lo em 0,5g/GWh com base em outros processos em bruto ou dados não fundamentados. O único risco potencial que poderia chegar à mente de alguém seria o edifício fogo. Também foi estimado quantitativamente que a temperatura máxima de um sótão em chamas é 900°C, que ainda é inferior ao ponto de fusão de CdTe 1041°C. Placas, qualquer emissão de Cd de vapor é improvável. A principal conclusão desses estudos foi que os riscos ambientais associados à tecnologia baseada em CdTe são mínimas. Toda fonte de energia ou produto pode apresentar algumas diretas ou indiretas os riscos para a saúde e a segurança ambiental e os do CdTe não devem, de forma alguma ser considerado um problema, foram desenhadas as seguintes conclusões:

- Cd é produzido como um subproduto de Zn e pode ser usado para usos benéficos ou descarregado para o meio ambiente, colocando outro risco.
- O CdTe em PV é muito mais seguro do que outros Cd atuais.
- CdTe PV usa Cd 2500 vezes mais eficientemente do que as baterias de Ni-Cd.
- Absolutamente nenhuma emissão durante a operação fotovoltaica.
- Um risco de emissão de fogo é mínimo.
- A tecnologia e os módulos da CdTe são seguros e não representam riscos significativos.

## Abreviações

SI - Silico Amorfo

Al - Alumínio

C-Si - Silicio Cristalino

C - Carbono

Ca - Cálcio

Cd - Cádmium

CdS - Sulfato de cádmio

CdTe - Teluride de cádmio

CIGS - Disselenido de gálio de cobre-índio

Fe - Ferro

GEE - Gases de efeito estufa

InGaAs - Arseniato de galão de índio

IPCC - Grupo Intergovernamental de Mudanças Climáticas

LCA - Avaliação do ciclo de vida

MG-Si - Silício de qualidade metalúrgica

Mg-Si - Siliciuro de magnésio

Mg de - Magnésio

Mn – Manganês

NREL – National Renewable Energy Laboratory

P – Fósforo

PV – Fotovoltaico

SiCl<sub>4</sub> – Tetracloroeto de silício

SeO<sub>2</sub> – Dióxido de selênio de

SF<sub>6</sub> – Hexafluoreto de enxofre

SF<sub>2</sub> – Difluoreto de enxofre

SiF<sub>4</sub> – Tetrafluoreto de silício

SiHCl<sub>3</sub> – Triclorosilano

SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> – diclorosilano

SiH<sub>4</sub> – Silano

SiHBr<sub>3</sub> – Tetrabrometo de silício

SiO<sub>2</sub> – Sílica

Si – Silício

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

TF – Filme fino

Ti – Titânio

## REFERÊNCIAS

- ALSEMA, E. A.; NIEUWLAAR, E. Energy viability of photovoltaic systems. *Energy Policy*, v. 28, n. 14, p. 999-1010, 2000.
- DE CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. D.; ROCIO, M. A. R. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira? *BNDES Setorial*, v. 40, p. 205-234, 2014.
- FRANGOPOULOS, C. A.; RAKOPOULOS, C. D.; TSATSARONIS, G. Special issue dedicated to ECOS 2006: 19th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Aghia Pelagia, Crete, Greece, 12-14 July 2006. *Energy*, v. 33, n. 2, p. 105-106, fev. 2008.
- FTHENAKIS, V. M.; KIM, H. C. Photovoltaics: Life-cycle analyses. *Solar Energy*, v. 85, n. 8, p. 1609-1628, 2011.
- FTHENAKIS, V. M.; KIM, H. C.; ALSEMA, E. Emissions from Photovoltaic Life Cycles Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environmental Science and Technology*, v. 42, n. 6, p. 2168-2174, 2008.
- GREENPRO. Summary for Policymakers. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, v. 53, n. 9, p. 1-30, 2004.
- HSU, D. D. et al. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Crystalline Silicon Photovoltaic. p. 32, 2012.
- MARKVART, T.; CASTAÑER, L. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications: Fundamentals and Applications*. p. 1015, 2003.
- MASINI, A. Simplified life-cycle analysis of PV systems in buildings: Present situation and future trends. n. March 1998, 2014.
- MONTOYA, A. C. Á. Produção de Filmes de Dióxido de Titânio para Aplicações Fotovoltaicas.



2014, n. 1, p. 1-5, 2014.

RAND, B. P. et al. Solar Cells Utilizing Small Molecular Weight Organic Semiconductors. Prog. Photovolt: Res. Appl., v. 15, n. February 2013, p. 659-676, 2007.

RAUGEI, M.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment and energy pay-back time of advanced photovoltaic modules: CdTe and CIS compared to poly-Si. Energy, v. 32, n. 8, p. 1310-1318, ago. 2007.

STOHS, S. J. The Safety of. p. 11-12, 2011.

TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. Solar. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2013.

WEBER, F. A.; PAROUS, L.; OLIVEIRA, V. D. DE. Ferrosilicon Production and Operation. In: [s.l.: s.n.]. p. 255-264.

[1] Graduado Engenharia Elétrica, Faculdades Ponta Grossa - FACPG, Brasil

[2] Mestre Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina - UEL, Brasil