



# Células Solares com Estrutura Semicondutor-Isolante-Semicondutor (SIS)

Aluno: Hugo da Silva Alvarez <sup>1</sup>; Orientador: Prof. Dr. Francisco das Chagas Marques<sup>2</sup>  
 Laboratório de Pesquisas Fotovoltaicas (LPF) - Instituto de Física "Gleb Wataghin"  
 Unicamp – Campinas – São Paulo – Brasil  
<sup>1</sup> hugodasilvaalvarez@hotmail.com; <sup>2</sup>marques@ifi.unicamp.br  
 Palavras-chave: Células Solares, SIS, SnO<sub>2</sub>

## INTRODUÇÃO:

Dentre as chamadas fontes alternativas ou renováveis de energia, a energia solar destaca-se devido à abundância do recurso. Na solar fotovoltaica, os fótons da radiação solar (energia luminosa) são diretamente convertidos em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

As células fotovoltaicas, em geral, são fabricadas utilizando-se lâminas de silício, que podem alcançar eficiência de conversão de 24,7%<sup>[1]</sup>. Diversos grupos de pesquisa trabalhando com o desafio de aumentar a eficiência de conversão das células.

O emprego de técnicas de menor custo visando aumento da eficiência de conversão das células é largamente encontrado na literatura. Dentre estes processos está a técnica de multijunções de células SIS (Semicondutor-Isolante-Semicondutor), por serem dispositivos que não requerem altas temperaturas e envolverem processos simples de formação da junção, pode-se obter eficiência comparável à de uma junção p-n e outros fatores que as tornam potencialmente mais baratas que as células convencionais.

A estrutura básica das células SIS consiste: por um substrato semicondutor, em geral silício mono ou policristalino, SiO<sub>2</sub>, como isolante de espessura inferior a 30Å e uma camada frontal formada por um óxido semicondutor transparente de banda proibida larga, para funcionar como janela ótica.

Para a confecção das células SIS, utilizou-se lâminas texturizadas, uma camada antirrefletora de SnO<sub>2</sub>, e contatos de alumínio. Foram feitos vários testes de limpeza nas lâminas para uma boa eficiência.

## EFICIÊNCIA DE UMA CÉLULA SOLAR:

A eficiência de uma célula solar pode ser dada através de uma curva I Vs V (corrente versus potencial). Medidos em um simulador solar, adaptado pelo prof. Dr. Francisco das Chagas Marques constando: uma lâmpada de tungstênio-halogênio. Um sistema de eletrodos que alimenta e faz contato com a célula. Uma fonte KEITLHEY responsável pela geração de um sinal de tensão (polarização) e consequente medida da corrente.

A potência máxima fornecida pela célula (P<sub>máx</sub>) é o produto de I por V que fornece o maior valor, ou seja, corresponde à "área" máxima do retângulo inscrito na curva da Figura 1. Neste ponto definiremos  $I \equiv I_{máx}$  e  $V \equiv V_{máx}$  Figura 1 b). O fator de forma (FF) é definido pela razão entre a potência máxima de saída e o produto  $V_{CA} * I_{CC}$ , ou seja:

$$FF = \frac{P_{máx}}{V_{CA} * I_{CC}} = \frac{V_{máx} * I_{máx}}{V_{CA} * I_{CC}}$$

$$E_f = \frac{P_{máx}}{P_{inc}} = \frac{FF * V_{CA} * I_{CC}}{P_{inc}} * 100\%$$

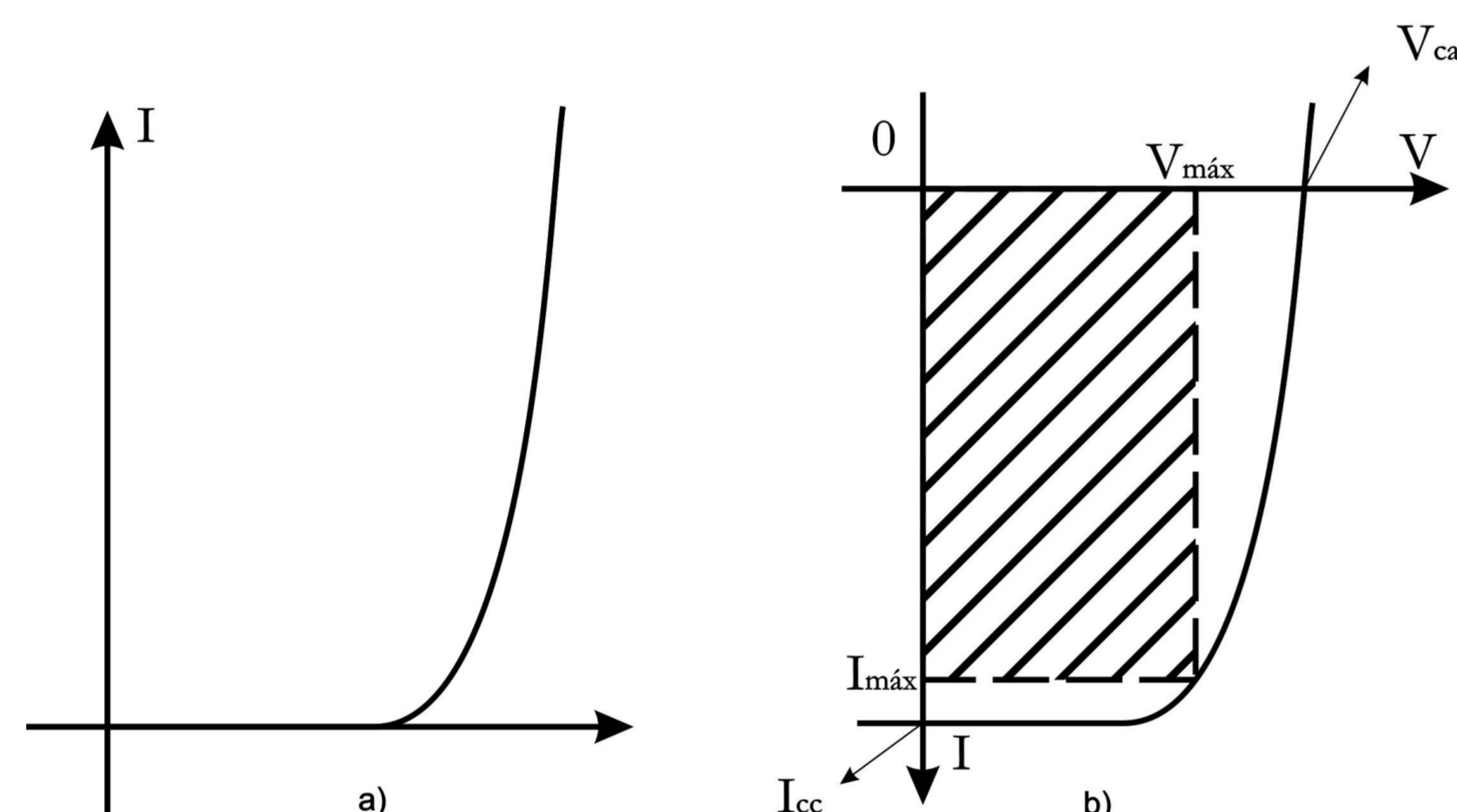


Figura 1: a) corrente no escuro de uma célula solar, com tensão aplicada. b) característica de uma célula solar sob iluminação.

## EXPERIMENTO:

As lâminas que foram utilizadas na confecção das células solares receberam o tratamento abaixo (Figura 2):

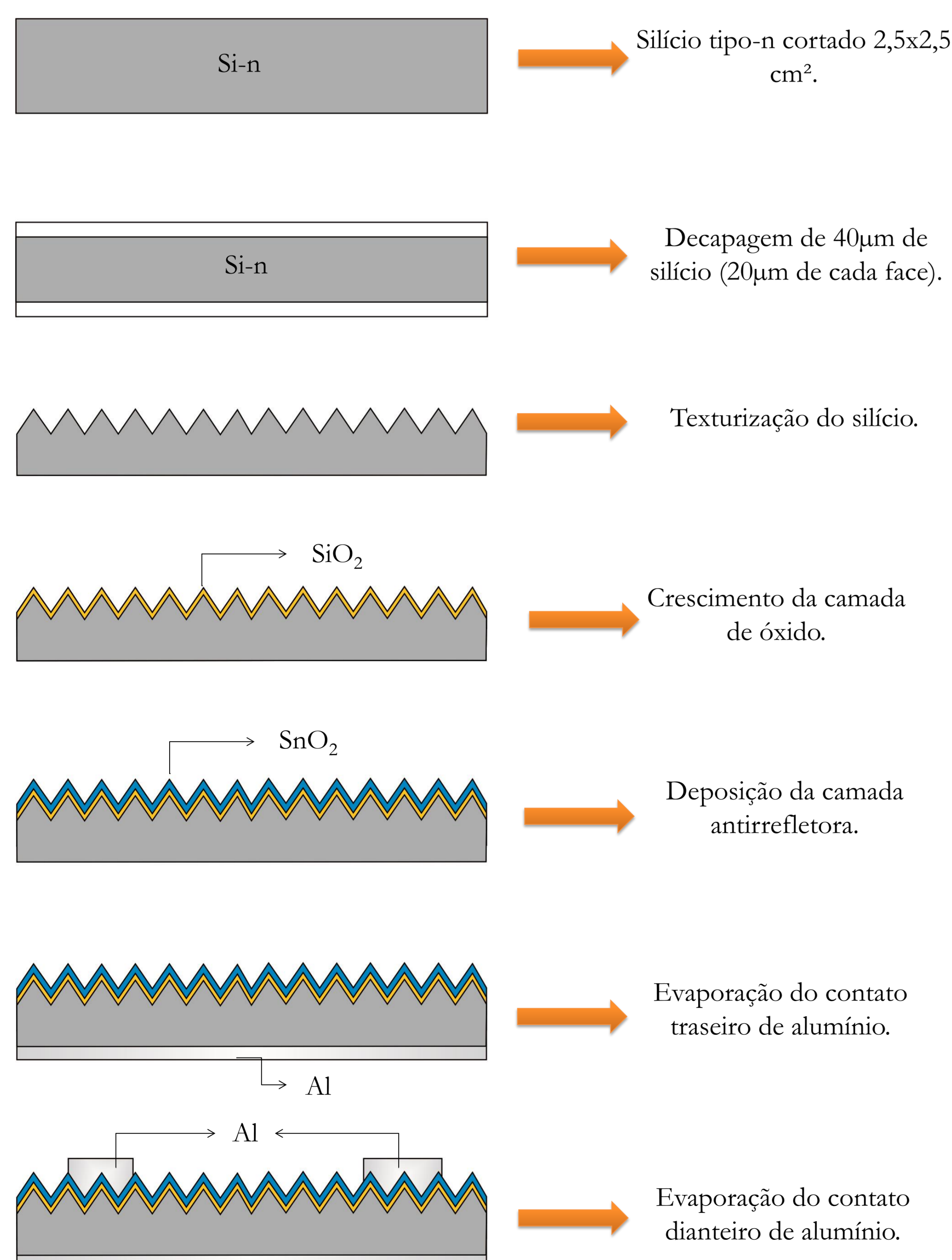


Figura 2: Esquemas de como as etapas de fabricação das células solares foram feitas.

## RESULTADOS:

Variou-se vários parâmetros na confecção das células solares, como o tipo de limpeza aplicada, texturização, tipo da camada antirrefletora (ITO Indium Titanium Oxide e SnO<sub>2</sub>, depositado por sputtering e por spray térmico) e a maneira que a camada de óxido de silício foi crescida (forno ou ozonizador).

Obteve-se como melhor resultado a célula produzida seguindo a figura 2. Com a camada refletora de SnO<sub>2</sub> depositada por spray térmico, uma limpeza rígida, camada de óxido crescida no forno a 450 °C e contatos de alumínio, que ficaram durante 1 minuto a uma temperatura de 100°C, após a deposição por evaporação, para melhorar o contato ôhmico (Figura 3).

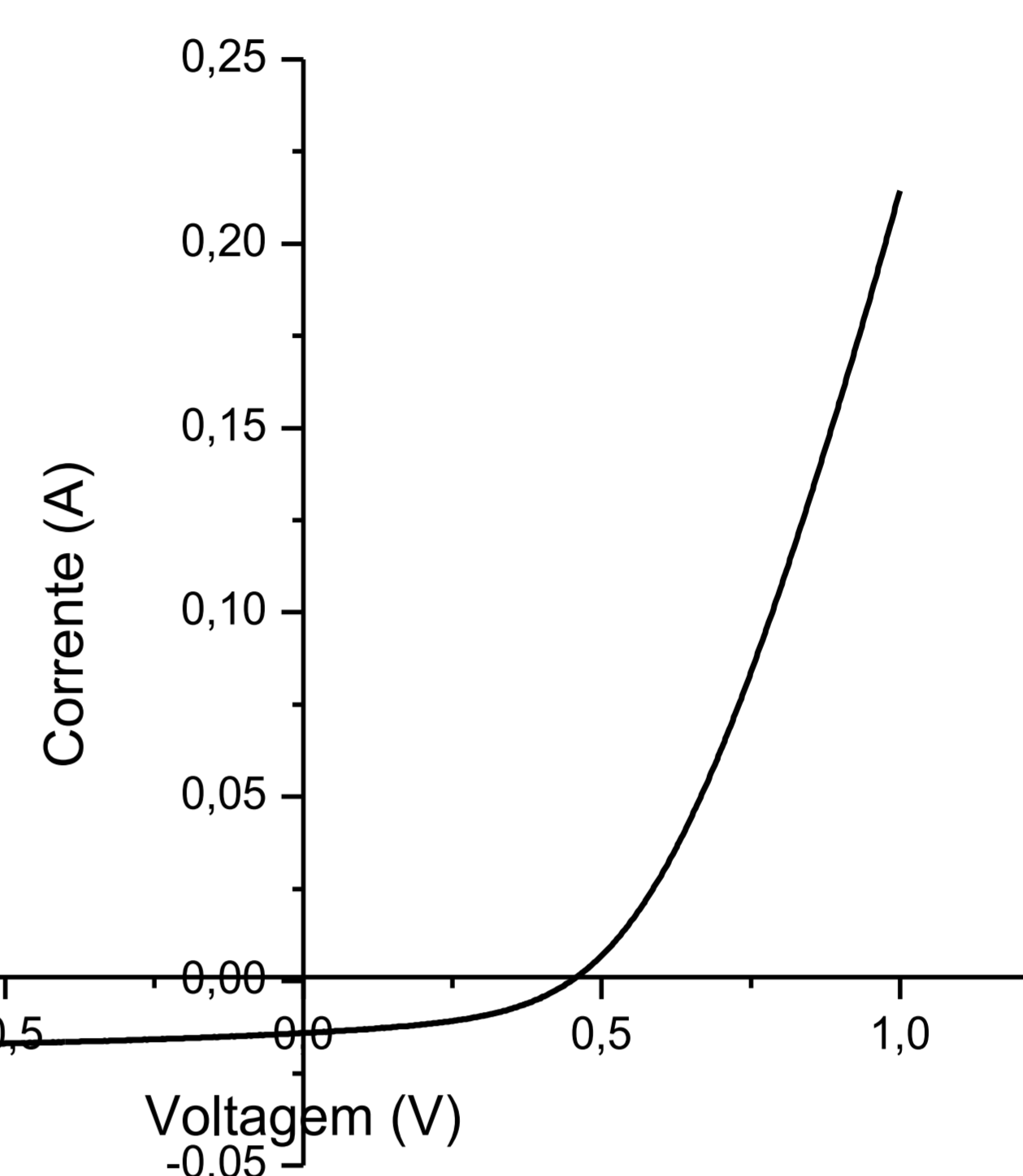


Figura 3: curva I x V da célula solar de melhor fator de conversão, com iluminação, em silício do tipo-n, com SnO<sub>2</sub> depositado por spray e camada de óxido crescida no forno.

Tabela 1: dados obtidos e calculados para a célula solar de estrutura SIS, com iluminação, em silício do tipo-n, com SnO<sub>2</sub> depositado por spray e camada de óxido crescida no forno.

V <sub>máx</sub>	299,29 mV	V <sub>CA</sub>	461,72 mV
I <sub>máx</sub>	-9,51 mA	I <sub>CC</sub>	-12,96 mA
FF	0,47	E <sub>f</sub>	3,29 %

Somente as células solares produzidas na mesma série da Figura 3, tiveram alguma eficiência relevante de 3,21%, 2,68%. A primeira teve a camada de óxido crescida no ozonizador e a segunda estava sem a camada de óxido. Utilizando-se ITO como amada antirrefletora não conseguiu-se bons resultados

Utilizando-se ITO como camada antirrefletora e não texturizado a lâmina de silício não obteve-se resultados significantes (eficiência menor que 0,7%), provavelmente devido a má deposição do ITO na superfície da célula ou por causa de alguma impureza na câmara de vácuo.

## RESULTADOS:

Fabricou-se células solares de silício tipo-n, orientação cristalográfica <100>, texturizado, de estrutura semicondutor-isolante-semicondutor (SIS), com camada antirrefletora de SnO<sub>2</sub> e contatos de alumínio com eficiência, ou fator de conversão de ~3,30%.

Este resultado foi obtido após vários testes com camadas antirrefletora – testou-se ITO no lugar do SnO<sub>2</sub>, mas obteve-se um fator de conversão menor do que 0,7%. Cresceu-se a camada de óxido de maneiras diferentes (em atmosfera de oxigênio, no forno e câmara de sputtering, e ozônio) para observar os efeitos na eficiência. Verificou-se se o alumínio formava um contato ôhmico entre o (n)Si e o (p)Si, mas nos procedimentos aplicados somente o primeiro demonstrou tal comportamento, com uma resistividade de, aproximadamente, 1,11 Ohms para uma temperatura de 350°C durante 1 min.

Um ponto importante observado e sinalizado neste trabalho é o tipo de cuidado que se deve ter na limpeza das lâminas. Pois o seu resultado dependerá de quão bom efetivou-se este procedimento, já que impurezas e defeitos na superfície da lâmina podem mudar a forma barreira SIS e a condução das cargas no semicondutor.

Um seguinte passo, após este trabalho, seria tentar aumentar a eficiência obtida, melhorando o crescimento da camada de óxido e o contato ôhmico do alumínio, como também voltar a deposição do ITO como camada antirrefletora. Além de fabricar uma célula solar com os parâmetros utilizando na tese de mestrado do Prof. Dr. Francisco, com junções n-p e contatos com vários metais.

## BIBLIOGRAFIA:

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/3\\_3\\_2.htm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3_2.htm)>. Acesso em: 01 de Maio, 2011.
2. Marques, Francisco das Chagas. Sprayed SnO<sub>2</sub> Antireflection Coating on Textured Silicon Surface for Solar Cell Applications. *Ieee Transactions On Electron Devices*. July de 1998, Vol. 45, 7º, pp. 1619-1622.
3. Marques, Francisco Chagas. Células Solares com estrutura Isolante-Semicondutor-Isolante (SIS) - SnO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>/(n)Si. Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas : s.n., 1984. Tese de Mestrado.
4. Matlow, Sheldon L. e Ralph, Eugene L. Ohmic Aluminum-n-Type Silicon Contact. *Journal of Applied Physics*. April de 1954, Vol. 30, 4, pp. 541-543.
5. Green, Martin e et al. Solar cell efficiency tables (version 16). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 1º, 2000, Vol. 8, pp. 377-384.
6. Green, Martin A., et al., et al. Solar cell efficiency tables (version 41). *Progress in Photovoltaics*. 1º, 2012, Vol. 21.