

Integração de materiais e processos para o avanço tecnológico de células fotovoltaicas de terceira geração

Zaira Navarro Catel¹, Marcelo Kioshi Hirata², Jilian Nei de Freitas²

zcatel@cti.gov.br, mkhirata@cti.gov.br, jnfreitas@cti.gov.br

**¹Faculdade de Engenharia Química
Pontifícia Universidade Católica de Campinas – Campinas – SP**

**²Divisão de Nano, Microssistemas e Materiais – DINAM
CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP**

Abstract. In this work, the characterization parameters of solar cells and electrolytes were studied according to the replacement of the standard liquid electrolyte with a formulated polymeric electrolyte. For that, polymeric electrolyte were formulated by variations in the concentrations of the standard electrolyte components (LiI and I₂), using 20% and 2%, 30% and 3%, 40% and 4%, 50% and 5%, 60% and 6% w/w, respectively. The addition of carbon black was also tested, at concentrations of 1%, 5%, 10%, 20%, 40%, and 60% wt%, depending on the polymer mass. The formulated electrolytes were evaluated by electrochemical impedance spectroscopy, reaching a maximum conductivity of $6.315 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$.

Resumo. Neste trabalho foram estudados os parâmetros de caracterização de células solares e eletrólitos de acordo com a mudança do eletrólito líquido padrão por um polimérico formulado. Logo, foram estudados métodos de formulação do eletrólito polimérico a partir de variações de concentração dos componentes do eletrólito padrão, LiI e I₂, em 20% e 2%, 30% e 3%, 40% e 4%, 50% e 5%, 60% e 6% em massa, respectivamente, além da adição do negro de fumo, em que foram testadas concentrações de 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60% deste material, em relação à massa do polímero. Os eletrólitos formulados foram avaliados por medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica, sendo obtida uma condutividade máxima de $6,315 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$.

Introdução

A Energia Fotovoltaica é cada vez mais crescente no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2025 [ABSOLAR] ^[1], no país a maior parte da energia provém das fontes renováveis, em que, 23% são representados pela energia solar fotovoltaica. Hoje há um crescente interesse dos brasileiros em investir nas placas fotovoltaicas para uso doméstico e em pequenos negócios.

As placas que constituem as usinas, também chamadas de módulos, são feitas a partir de ligações de várias células fotovoltaicas. Essas células são dispositivos que

convertem a energia luminosa em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, e são classificadas por seus diferentes materiais. Atualmente, os principais tipos de células fotovoltaicas comercializados são produzidos com silício, enquanto as novas gerações de células incluem tecnologias de filmes finos e células solares sensibilizadas por corante (DSSC).

As DSSCs (do inglês, *Dye-Sensitized Solar Cells*), são uma tentativa de simular a fotossíntese das plantas, contendo um corante que absorve a luz e injeta elétrons em um semicondutor. Esses elétrons são transferidos para um circuito externo, gerando corrente elétrica. O corante oxidado se regenera a partir de um eletrólito, e este é regenerado pelo contra eletrodo, que fecha o circuito. Essas células também são conhecidas por células de Grätzel e podem alcançar até 10 % de eficiência em sua arquitetura original, criada na década de 90 [Grätzel e O'Regan 1991] ^[2].

A DSSC em sua configuração clássica é constituída por um vidro que contém um óxido condutor transparente (*transparente conducting oxide* - TCO), podendo ser um óxido de estanho e índio (*indium tin oxide* - ITO) ou um óxido de estanho dopado com flúor (*fluorine-doped tin oxide* - FTO). Em seguida há um filme poroso de um semicondutor (TiO_2) que fará a adsorção do corante (normalmente a base de Rutênio), um eletrólito contendo um par redox de íons de iodeto / triiodeto (I^-/I_3^-) e, por fim, a célula é fechada com um contra eletrodo de Pt (vidro condutor com uma fina camada de platina) [Grätzel e O'Regan 1991] ^[2].

Entretanto, o eletrólito líquido apresenta algumas desvantagens que geram pesquisas para sua substituição, na forma sólida ou em gel, que, além de simplificar a montagem dos dispositivos, também reduz consideravelmente os custos de produção. [Hirata 2015] ^[3] [Benedetti 2010] ^[4]. Essa tendência surge devido às limitações dos eletrólitos líquidos, que geralmente são compostos por solventes orgânicos de baixo ponto de ebulição, como acetonitrila ou valeronitrila. Tais solventes podem sofrer vazamentos ou evaporação, comprometendo a estabilidade, o desempenho e a segurança do dispositivo. Este trabalho de iniciação científica buscou estudar a utilização de novos eletrólitos poliméricos nas DSSCs.

Materiais e Métodos

Foram estudadas diversas etapas da montagem das DSSCs, incluindo: estudos sobre as pastas de TiO_2 comerciais e sua espessura, o estudo sobre os corantes de rutênio comercializados e principalmente o estudo do eletrólito para a elaboração de um novo eletrólito polimérico.

Substrato

O FTO é um material utilizado em muitos sistemas eletrônicos e dispositivos. Utilizou-se então o substrato de vidro com FTO (*TCO10-10, SOLARONIX*) para as células solares, cortado nas dimensões 1,5 x 2,0 cm, para preparação de células com área ativa de 0,25 cm².

Para a limpeza do vidro com FTO utilizou-se detergente neutro (EXTRAN – MA02, 3%), acetona (99,7% - PA), álcool isopropílico (99,9% - PA) e água deionizada em ultrassom por 30 min, seguido por enxague com água deionizada após cada solvente. Com os substratos limpos, realizou-se uma secagem com nitrogênio.

Pasta de TiO₂

Foram utilizadas duas pastas de TiO₂ comerciais para as células solares, são elas a pasta de TiO₂ transparente (*Sigma-Aldrich – Titania paste transparent – 791547-10G*) e a pasta de TiO₂ opaca (*Sigma-Aldrich – Titania paste active opaque – 791555-5G*).

Deposição do filme de TiO₂

Para a deposição do filme do semicondutor foi selecionada a técnica *Doctor Blading*. Foi utilizada a fita mágica (EUROCEL) como espaçador para delimitar a área de deposição e a espessura do filme. Colocou-se uma pequena quantidade da pasta de TiO₂ na ponta do substrato e com uma pipeta de vidro realizou-se a deposição através de arraste da pasta sobre o substrato.

Tratamento Térmico

O tratamento térmico do filme foi realizado com o objetivo de eliminar as substâncias orgânicas e solventes presentes na pasta de TiO₂, o que proporciona um filme poroso e promove uma maior área superficial para a ancoragem do corante.

Em uma mufla a vácuo (Fornos INTI – FTR-1100), o substrato passou por um tratamento térmico de acordo com o artigo de Grätzel [Grätzel e O'Regan 1991] [2]. Neste tratamento programou-se o forno por 30 min à 350 °C como primeiro patamar e 30 min à 450 °C como segundo patamar.

Delimitação da área ativa

Após o tratamento térmico é possível delimitar a área ativa do dispositivo através da raspagem do filme de TiO₂ com o auxílio de uma lâmina de vidro, para uma área de 0,25 cm², de modo a padronizar as células.

Eletrólito polimérico

O eletrólito padrão utilizado nas DSSCs é um eletrólito líquido composto pelo par redox I⁻/I³⁻, porém este eletrólito traz alguns problemas para a célula, como vazamento do eletrólito por ser líquido e ter alta volatilidade.

Foi então utilizado um copolímero de acetato de vinila, que apresenta propriedades de adesivo, podendo ser utilizado para selagem das células além de matriz para o eletrólito. Foram testados vários solventes e métodos para que o eletrólito e o polímero atingissem um grau de miscibilidade adequado para a aplicação na célula.

O primeiro teste foi realizado a partir da mistura direta do polímero com o eletrólito líquido padrão (*Electrolyte EL-HPE – DYESOL*). Foi realizado um pré-tratamento térmico na seladora para formação prévia de um filme que, após o pré-tratamento foi recortado e colocado em uma célula de teste. Porém foi observado um problema de miscibilidade, no qual o eletrólito líquido segregava da matriz do polímero com o tempo, o que também fez com que a selagem da célula descolasse.

Para contornar este problema, foi realizado uma formulação a partir dos componentes do eletrólito líquido padrão, utilizando I₂ e LiI (*MERK*) para a mistura diretamente com o polímero. Neste teste foi utilizada a balança analítica e colocou-se um almofariz pequeno para a pesagem (Figura 1 – A). O primeiro reagente a ser pesado foi o polímero que, a partir de sua massa, foram calculadas as proporções de 2% de I₂ e

20% LiI que se pesou no mesmo almofariz, cuidadosamente. Após esse processo retirou-se o almofariz e o material foi macerado até secar. Contudo neste teste também foi observado o problema anterior de separação de fases, o que pode ser explicado pelo Iodo não estar bem disperso no polímero, em que ao se dissociar, por ser um material higroscópico, acumulou umidade (Figura 1 – B).

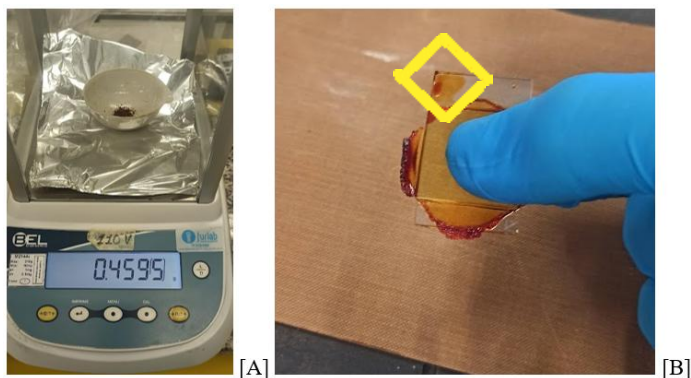


Figura 1 - (A) Pesagem dos componentes do eletrólito polimérico; (B) Problema de dissociação dos reagentes, em que se indica o acúmulo de umidade na figura.

Com base nesses testes, observou-se que o material deveria ser produzido de outra forma, assim foi sugerida a formulação em solução, no qual o polímero foi recortado e pesado, em média 0,3g, e dissolvido com aproximadamente 40 gotas de xileno (IMPEX – PA) (**Figura 2 – A**). Posteriormente foram pesados os componentes do eletrólito (I_2 e LiI) e colocados junto ao polímero, porém foi visto que o LiI não se dissolvia na solução.

O teste de solução foi repetido, porém dissolvendo-se os reagentes I_2 e LiI em DMC (dimetil carbonato – *Sigma-Aldrich*), com aproximadamente 40 gotas (**Figura 2 – B**), ambos com o auxílio de ultrassom. a seguir, misturou-se as soluções de polímero e de LiI/ I_2 . Após homogeneizados, secou-se em uma chapa de aquecimento à 60°C. Todo o procedimento foi feito dentro da capela pelo grau de toxicidade dos reagentes utilizados.

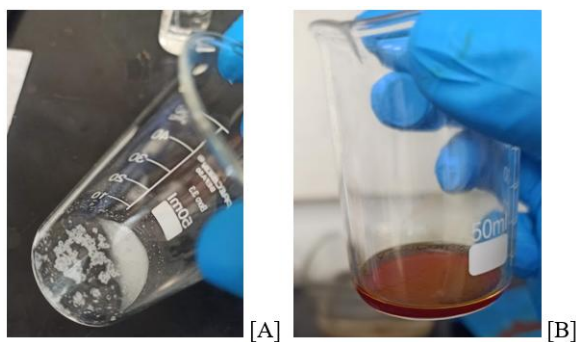


Figura 2 – (A) Solução de polímero e xileno; (B) Solução de DMC, I_2 e LiI.

Seguindo este método de preparo, utilizou-se diferentes proporções de I_2 e LiI em relação à massa do polímero, nas quais usou-se, respectivamente, 2% e 20% (padrão do eletrólito comercial), 3% e 30%, 4% e 40%, 5% e 50%, e 6% e 60% em massa. Os eletrólitos contendo diferentes concentrações de LiI e I_2 foram então caracterizados por meio de medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS), a fim de se verificar qual proporção seria mais condutora.

Após a caracterização, notou-se a baixa condutividade elétrica dos eletrólitos formulados. Portanto, adicionou-se negro de fumo (Cabot) no polímero antes de ser misturado ao eletrólito com a finalidade de aumentar a condutividade do material. Foram utilizadas diferentes proporções de negro de fumo em função da massa do polímero: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60%. Esses eletrólitos também foram caracterizados por medidas de EIS e de voltametria.

Corantes

Os corantes tipicamente utilizados nas DSSCs são os corantes comerciais N719 ((cis-ditiocianatobis (2,2' bipiridina-4,4'-ácido dicarboxílico) rutênio (II)) di-tetrabutilamônio)), N3 ((isotiocianato)-bis (4,4'-ácido dicarboxílico 2,2'-bipiridina)2-rutênio (II)), e N749 (Tris(N,N,N-tributil-1-butanaminium)[[2,2''6',2''-terpiridina]-4,4',4''-tricarboxilato(3-)-N1,N1',N1'']tris(tiocianato-N)hidrogenorrutenato) mais conhecido como *Black Dye*. Neste trabalho foram utilizados os corantes N719 (*ALDRICH*) e N3 (*SOLARONIX*). Os corantes são comercializados em pó, com a necessidade de ser preparada uma solução para ser utilizado nos dispositivos. Assim, foi feita preparada uma solução ($0,25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) de corante em etanol (99,7 %), a qual foi coberta com papel alumínio para evitar a degradação do corante. Nesta etapa, como os corantes são fotossensíveis, ou seja, degradam se expostos a luz, foi realizado o procedimento em uma sala escura. Os filmes de TiO_2 foram aquecidos em uma chapa a 60°C , colocados em uma placa de Petri e imersos na solução do corante por um período mínimo de 18 horas. Após esse período, as amostras foram retiradas da solução e, com uma pipeta, foi realizada uma lavagem com etanol para retirar o excesso do corante que poderia estar presente no substrato.

Montagem das Células Solares

Para a montagem das células solares, foi seguida a estrutura da célula clássica., Após os filmes sensibilizados serem retirados do corante, foi recortado com um estilete um pedaço do eletrólito polimérico, o qual foi colocado sobre a célula junto ao contra eletrodo. O conjunto foi colocado na seladora para realização do tratamento térmico por 10min a 100°C com vácuo, 30min a 120°C com vácuo e pressão, e um resfriamento nas mesmas condições até os 40°C . Após o tratamento, as células foram retiradas da seladora e colocado grampos para evitar problemas com a selagem.

O tratamento na seladora também foi otimizado durante a pesquisa, pois foi observado que, mesmo aparentemente seco, o material apresentava propriedades higroscópicas que atrapalham o processo de selagem e o dispositivo se desmontava facilmente. Portanto, os últimos experimentos foram feitos a partir do eletrólito ainda líquido: com o auxílio de uma pipeta, foram aplicadas algumas gotas (até o preenchimento da área ativa) no dispositivo em uma chapa a 60°C . Depois, as células foram levadas para a seladora para fazer o processo de selagem e montagem das células. No entanto, observou-se que as medidas apresentaram curto-circuito, e então foi alterada a montagem da célula

O último teste realizado consistiu na utilização de uma pasta de TiO_2 preparada por colegas do laboratório. Neste caso, o filme preparado com essa pasta foi raspado em dimensões de $1 \times 1 \text{ cm}$ e foi colocada uma fita Kapton® por cima do filme com dimensões de $0,5 \times 0,5 \text{ cm}$ para delimitar a área ativa. Posteriormente o eletrólito foi

gotejado e a célula foi selada com o contra eletrodo de platina a partir do tratamento térmico na seladora descrito anteriormente (Figura 3).

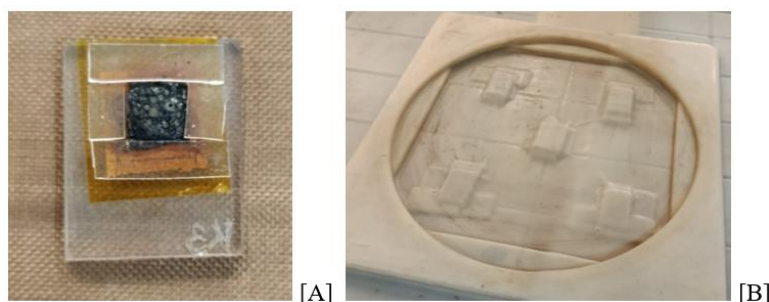


Figura 3 - (A) Preparação da célula antes da selagem, com o eletrólito ao centro e partes de polímero em volta para garantir a selagem do dispositivo e evitar curto-circuito; (B) Selagem dos dispositivos na seladora com uso de vácuo e pressão.

Posteriormente a montagem, todas as células foram caracterizadas por medidas das curvas de corrente versus tensão (JxV) em um simulador solar (LumiSunTM-50) com intensidade ajustada para 100 mW cm^{-2} .

Resultados e Discussão

Análises dos filmes de TiO₂

O perfilômetro (*BRUKER - Dektak-XT*) foi utilizado para medir a espessura dos filmes de TiO₂ e sua rugosidade após o tratamento térmico. De acordo com a referência base [Grätzel e O'Regan 1991] ^[2], os filmes de TiO₂ devem conter uma espessura entre 8 e 12 μm , ser homogêneos e não ter rupturas.

A rugosidade do filme também é um requisito importante pois deve ser ajustada a ponto de não deixar com que o filme de TiO₂ corado tenha contato com o contra eletrodo, assim evitando um curto-circuito na célula. Portanto, foram medidas a rugosidade do filme de TiO₂ das duas pastas comerciais utilizadas, a transparente (Figura 4) e a opaca (Figura 5).

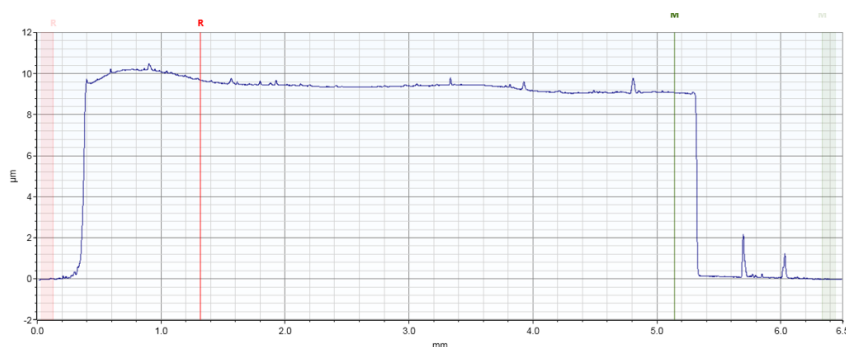


Figura 4 – Medida do filme de TiO₂ preparado a partir da pasta comercial transparente, onde se obteve 9,39 μm de espessura média e 143,99 nm de rugosidade média.

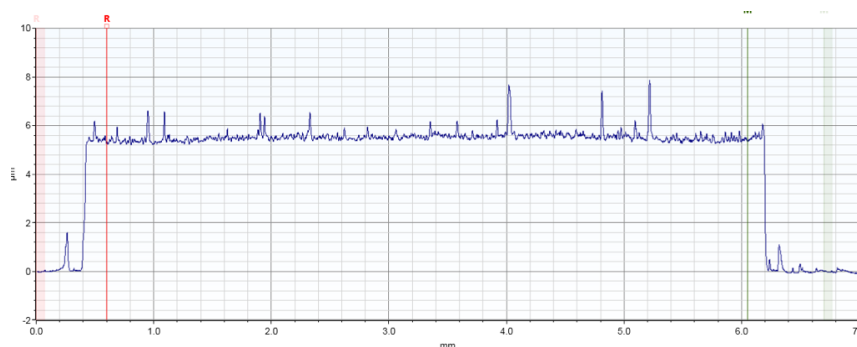


Figura 5 – Medida do filme de TiO_2 preparado a partir da pasta comercial opaca, onde se obteve 5,55 μm de espessura média e 126,87 nm de rugosidade média.

Foi investigada a variação dos parâmetros de rugosidade e espessura dos filmes a partir da variação do número de fitas usadas durante a deposição. (Figura 6). Para os filmes preparados com 1 fita, foi encontrada uma média de 4,71 μm de espessura e 149,73 nm de rugosidade para a pasta transparente, e uma média de 5,92 μm de espessura e 398,63 nm de rugosidade para a pasta opaca. Já para os filmes preparados com 2 fitas, foi encontrada uma média de 9,40 μm de espessura e 148,23 nm de rugosidade para a pasta transparente, e uma média de 17,24 μm de espessura e 1,24 μm de rugosidade para a pasta opaca. Por fim, para 3 fitas, foi encontrada uma média de 13,89 μm de espessura e 597,83 nm de rugosidade para a pasta transparente, e uma média de 21,50 μm de espessura e 1,57 μm de rugosidade para a pasta opaca.

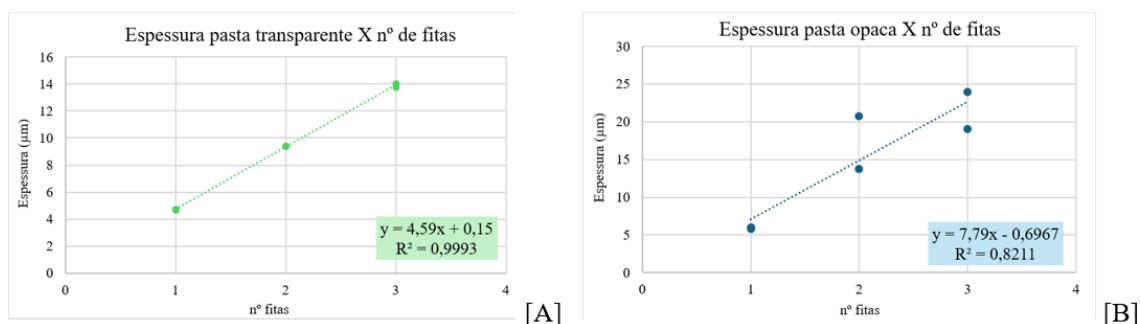


Figura 6 – (A) Gráfico de análise da espessura do filme conforme o número de fitas utilizadas na deposição da pasta de TiO_2 transparente; (B) Gráfico de análise da espessura do filme conforme o número de fitas utilizadas na deposição da pasta de TiO_2 opaca.

Dessa forma, determinou-se como mais adequado o uso de 2 fitas para a pasta transparente e 1 fita para a pasta opaca, os quais seria mais próximos do ideal não só pela espessura de acordo com o artigo de Grätzel, mas também pela observação dos filmes com 3 fitas, em que se apresentaram quebradiços e não uniformes.

Caracterização do Eletrólito Polimérico

O eletrólito polimérico foi caracterizado com o uso do equipamento AUTOLAB, a partir de medidas de impedância e voltametria a fim de determinar a condutividade elétrica do material. A impedância é uma medida relacionada à oposição do fluxo de corrente, em que é expressa em ohms (Ω), portanto é possível encontrar a condutância pelo seu inverso.

A condutância é grandeza que mede a facilidade de um objeto em conduzir eletricidade, já a condutividade é a facilidade intrínseca de um material de conduzir corrente elétrica. A principal diferença entre elas é que a condutância (G), medida em Siemens (S), depende da geometria, ou seja, requer o conhecimento da área transversal do material (A) e seu comprimento (L), já a condutividade (σ), medida em Siemens por metro (S/m), não depende da geometria do material (Equação 1).

$$\sigma \left(\frac{S}{m} \right) = \frac{L (m)}{R (\Omega) \cdot A (m^2)} = \frac{G (S) \cdot L (m)}{A (m^2)}$$

Equação 1 – Cálculo da condutividade a partir da resistência (R) ou condutância (G).

Deste modo, foram caracterizados os eletrólitos contendo diferentes concentrações dos componentes, no qual, quanto maiores as curvas obtidas, maior é o valor de resistência deste material, ou seja, menor será sua condutividade. Logo, os testes buscaram a diminuição dos semicírculos medidos [5]. Os gráficos obtidos nas medidas estão apresentados na Figura 7.

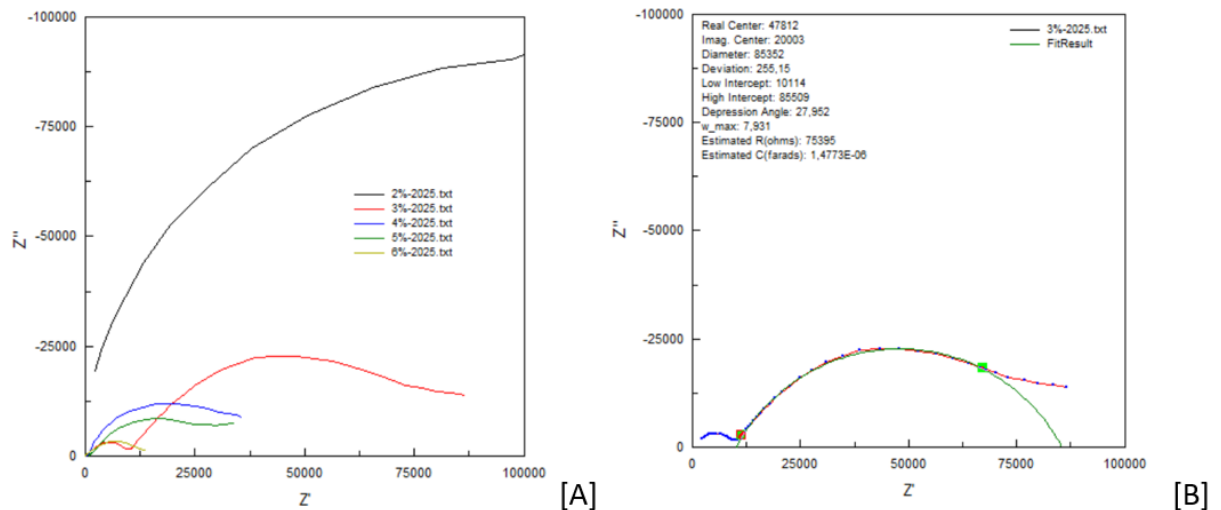


Figura 7 – (A) Representação gráfica das medidas de impedância dos testes de concentração, nas quais a curva em preto refere-se à proporção de 20% de LiI e 2% de I₂, a vermelha refere-se à 30% de LiI e 3% de I₂, a azul refere-se à 40% de LiI e 4% de I₂, a verde refere-se à 50% de LiI e 5% de I₂, e o amarelo refere-se à 60% de LiI e 6% de I₂; (B) Resultado do material com 30% de LiI e 3% de I₂, no qual apresentou uma resistência de 75395 Ω , ou seja, uma condutância de $1,33 \times 10^{-5}$ S.

Conforme os ajustes teóricos traçados (linha de tendência dos semicírculos), foi possível estabelecer a condutância e condutividade do material de acordo com sua concentração. Para ao cálculo da condutividade, mediu-se a espessura do filme de eletrólito no perfilômetro. A Tabela 1 apresenta o resultado dos cálculos para as diferentes composições do eletrólito. Com base nesses dados, foi possível determinar que seria utilizada a proporção de 60% de LiI e 6% de I₂ pois esta apresentou menor impedância (12065 Ω) e, por consequência, maior condutância ($8,29 \times 10^{-5}$ S) e condutividade ($\approx 6,315 \times 10^{-7}$ S/cm²).

Tabela 1 – Caracterização do eletrólito polimérico com variação na concentração dos componentes do eletrólito padrão sem negro de fumo.

LiI *	I ₂ *	Resistência (Ω)	Condutância (S)	Condutividade (S/cm)
20	2	1 726 800	5,79x10 ⁻⁷	4,41224x10 ⁻⁹
30	3	75 395	1,33x10 ⁻⁵	1,01055x10 ⁻⁷
40	4	38 186	2,62x10 ⁻⁵	1,99525x10 ⁻⁷
50	5	32 181	3,11x10 ⁻⁵	2,36756x10 ⁻⁷
60	6	12 065	8,29x10 ⁻⁵	6,315x10 ⁻⁷
*Concentração em % de massa, conforme a massa do polímero.				

Também foram realizadas as medidas nos eletrólitos contendo o negro de fumo em sua formulação, porém, os dados se apresentaram muito desordenados, com muita dispersão dos pontos, de forma que não foi possível calcular as variáveis de interesse.

Caracterização das DSSCs

Para a caracterização das células solares foi realizada a coleta dos dados de corrente em função da tensão, J x V, no qual J representa a densidade da corrente (corrente dividida pela área ativa da célula). Com essas curvas, foi possível determinar o potencial de circuito aberto (V_{oc}), e a corrente de curto-circuito (I_{sc}) das células e, a partir desses valores, foi possível calcular, pelo seu produto, a potência máxima teórica (P_{th}).

Também foi possível determinar a potência máxima atingida pela célula (P_{max}), a qual se dá pelo produto do potencial quando a potência é máxima (V_{mpp}) com a corrente quando a potência é máxima (I_{mpp}). A partir desses parâmetros calculados, foi possível determinar o fator de preenchimento, do inglês, *fill factor* (FF – razão da potência máxima pela potência teórica) que representa o quanto a curva obtida está próxima da curva ideal.

Com esses parâmetros, foi possível calcular a eficiência da célula em porcentagem, dada pela razão da potência máxima pelo produto da irradiância (100 mW/cm²) com a área ativa da célula (Equação 2) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

$$\eta = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{Irradiance \cdot A} \cdot 100\% \therefore \eta = \frac{P_{max}}{Irradiance \cdot A} \cdot 100\%$$

Equação 2 – Cálculo da eficiência da célula solar.

No entanto, a maior parte das caracterizações realizadas resultaram em curto-circuito, ou em um circuito isolado, ou seja, sem a passagem de corrente. No último teste realizado, foi possível obter uma curva J x V, porém, com valores muito baixos de corrente e potencial, o que não apresenta um resultado considerável comparado as DSSCs de estudos recentes e aprimorados.

Conclusão

Foram estudados dois tipos de pasta de TiO_2 , transparente e opaca, duas variações de corante de rutênio comercial, N719 e N3, e a formulação do eletrólito polimérico a partir de variações de concentração dos componentes do eletrólito padrão, LiI e I_2 , nas quantidades de 20% e 2%, 30% e 3%, 40% e 4%, 50% e 5%, 60% e 6% em massa, respectivamente, além da adição do negro de fumo, em que foram testadas concentrações de 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60% em razão da massa do polímero. O eletrólito polimérico foi empregado nas células solares devido à baixa estabilidade do eletrólito líquido, devido a problemas de vazamento e evaporação, e apresentou uma condutividade máxima de $6,315 \times 10^{-7} \text{ S cm}^{-1}$, a qual seria razoável para aplicação nas DSSCs. Contudo, quando aplicado nas células, não foi possível extrair valores nas medidas de $J \times V$ devido aos problemas de contato encontrados. Assim, a aplicação desses materiais requer um tempo maior de pesquisa, e experimentos nos quais seriam testados, por exemplo, outras proporções do negro de fumo, a fim de encontrar a proporção mais compatível para essa aplicação.

Referência Bibliográficas

- [1] ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. [ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica](#)
- [2] GRÄTZEL, M.; O'REGAN, B. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films. Nature; Oct 24, 1991; 353, 6346; Research Library pg. 737. 1991.
- [3] HIRATA, M. K. Desenvolvimento e caracterização de módulo solar de células de TiO_2 /corante com eletrólito gel. 2015. [Marcelo Kioshi Hirata](#)
- [4] BENEDETTI, João Eduardo. Preparação, Caracterização e Aplicação de Eletrólitos Poliméricos Gel em Células Solares TiO_2 /Corante. 2010. [João Eduardo Benedetti](#)
- [5] FREITAS, Jilian Nei. Módulo de células solares de TiO_2 corante e eletrólito polimérico. 2005. [Terminal RI - Sophia Biblioteca Web](#)