

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO ÓPTICO DE CONVERSORES FOTÔNICOS À MAIORES ENERGIAS E PONTOS QUÂNTICOS COMERCIAIS PARA APLICAÇÃO EM CÉLULAS SOLARES BIFACIAIS

Aline Cristiane Pan – aline.pan@pucrs.com.br

Leandro Santos Grassi Cardoso – leandro-ie@hotmail.com

Guilherme Torres Marques Vidal – guilherme\_torres@hotmail.com.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Física e Engenharia

Jennifer Cláudia Passos Teixeira – jenniferpassos@ua.pt

Joaquim F. M. C. Pratas Leitão – joaquim.leitao@ua.pt

Universidade de Aveiro, Faculdade de Física

**Resumo.** Conciliar baixo custo de produção com alta eficiência têm sido um dos grandes desafios para o desenvolvimento de células solares. Com este intuito o objetivo desse trabalho é realizar um estudo do comportamento óptico dos conversores fotônicos à maiores energias comerciais associados a pontos quânticos para aplicação em células solares bifaciais. Pois, estes materiais possuem propriedades de absorver radiação infravermelha e reemitir radiação visível, e assim as células solares bifaciais podem aumentar a sua eficiência. Preparou-se 24 amostras em uma base de silicone em gel, similar a utilizada no encapsulamento das células solares para a composição do módulo fotovoltaico, com diferentes concentrações de conversores fotônicos e pontos quânticos. Para o estudo do comportamento óptico dos conversores fotônicos e dos pontos quânticos comerciais utilizou-se das medidas de refletância, transmitância e fotoluminescência. O conversor comercial PTIR545/UF que absorve em torno de 1530 nm demonstrou os resultados mais promissores, principalmente associados aos pontos quânticos de PbS. Pois, apresentam uma redução considerável na transmitância e uma excelente absorvância para os comprimentos de onda onde a célula solar não responde. As três medidas realizadas nos indicam similares características dos conversores fotônicos e pontos quânticos o que demonstra a veracidade da caracterização proposta.

**Palavras-chave:** Conversores Fotônicos, Pontos Quânticos, Células Solares

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade atender a demanda cada vez maior por energia tem sido um dos maiores desafios dos tempos modernos, estimasse que nos últimos 10.000 anos a humanidade passou de produzir 100 W de energia provida do trabalho humano para 1,5 GW produzida por uma turbina a vapor, um aumento de aproximadamente 15 milhões de vezes, desse crescimento estimasse que cerca de 99% tenha ocorrido no século 20. Só nos últimos 50 anos o consumo de óleo equivale a cerca de 80% de todo óleo já consumido pela humanidade (García-Olivares *et al.*, 2015). Ao mesmo tempo, contrastando com essa realidade, as principais fontes de energia usadas têm sido bastante contestadas. Tanto por questões ambientais, como pelo fato de algumas dessas fontes de energia como petróleo, gás natural e carvão serem recursos finitos. Em 2010, a Agência Internacional de Energia anunciou que se o consumo se mantiver igual a 2006 o carvão atingiria seu pico de produção em 2070, o gás natural obterá o seu pico por volta de 2030 e os combustíveis fósseis por volta de 2028. Para a energia nuclear, provida da fissão nuclear, estimasse que o urânio terá o seu pico de produção no intervalo entre 2015 e 2035. É devido a essa futura escassez das fontes de energia não renováveis, e da preocupação cada vez maior com a preservação do meio ambiente, sem aleijar a produtividade da sociedade que vêm incentivando a busca por novas fontes de energia renováveis, que não causem degradação ao meio ambiente e que sejam ao mesmo tempo eficientes e baratas.

Segundo uma pesquisa empírica com dados de 25 países realizada por Mehdi Ben Jebli *et al.* (2015) há uma relação direta entre a quantidade de  $C$ , um dos gases considerados responsáveis pelo efeito estufa, emitida por um país e quanto a energia renovável participa na matriz energética desse país, segundo esse estudo quanto maior for a participação de energias não renováveis no consumo energético do país maior é a quantidade de  $C$  emitido, em contrapartida quanto maior é a participação de energias renováveis no consumo do país menor é a emissão do poluente. Nesse contexto que a energia solar fotovoltaica se apresenta como uma boa alternativa por ser uma fonte de energia inesgotável, e por não degradar o meio ambiente. O próprio investimento nessa tecnologia atesta esse fato. De 2010 a 2014 a capacidade de energia solar no mundo passou de 39 GW para 180 GW (Béatrice Cointe, 2015). Segundo dados da Associação da Indústria Fotovoltaica Européia (Europe Photovoltaic Industrie Association-EPIA) desde 1998 o crescimento anual em média tem se mantido acima dos 35%.

Foi a partir dos anos 50, quando o conceito de célula solar fotovoltaica foi experimentalmente provado, que diferentes matérias têm sido testados, buscando basicamente dois objetivos: alta eficiência e baixo custo. Num primeiro momento se privilegiou a busca por células mais eficientes, denominada primeira geração de células solares,

caracterizadas pela alta qualidade e por conseguir eficiências muito próximas ao limite teórico de Shockley e Queisser (1961). Num segundo momento a busca foi mais direcionada a desenvolver células mais baratas, denominada segunda geração de células solares, porém estas últimas apresentavam eficiências muito inferiores as primeiras. Atualmente o maior desafio das células ditas de terceira geração é conciliar tanto eficiência como baixo custo de produção.

Os conversores fotônicos à maiores energias (*up-converters* – UCs) são materiais que possuem a propriedade de absorver radiação em comprimentos de onda maiores, na faixa do infravermelho, e reemitir em comprimentos de onda menor, na faixa do visível. A sugestão de usar os UCs foi primeiramente proposto por Bloembergen (1959) no desenvolvimento de detectores de infravermelho: em seu experimento ele supôs detectar fótons na faixa do infravermelho através de suscetíveis absorções, que podiam ser mensuráveis pelo rearranjo dos níveis de energia em um sólido. A primeira demonstração do fenômeno de conversão fotônica à maiores energias (*up conversion* – UC) foi demonstrada por Gilbert *et al.* (1996), que usou sobre uma célula de GaAs um vitrocerâmico contendo e obtendo uma eficiência 2,5 %. Devido as suas características ópticas os UCs são empregados em diferentes aplicações, como: biossensores para arranjos de ensaios biomoleculares, detecção de DNA e painéis de tela plana (Cogji Zha *et al.*, 2013). A célula solar bifacial (CSB) é uma excelente opção para a implementação dos UCs, pois como ela é ativa em ambos lados, a torna capaz de absorver os fótons que são emitidos do UC (Pan *et al.*, 2014).

Matérias dopados com íons trivalentes de terras raras tem sido utilizados para implementação da tecnologia dos UCs na célula solar, essa escolha é devido principalmente pelo potencial luminescente observado em fenômenos UCs e com outras aplicações (lâmpadas fluorescentes compactas, lasers, fibra ótica, etc). Nos últimos anos o uso de materiais como NaYF<sub>4</sub>: e BaCl<sub>2</sub>: em CSB de laboratório foram propostos (Shalav, 2005) (Strümpel *et al.*, 2006). Em M. Sun *et al.* (2013) é observado o fenômeno de UC para fósforos de e co-dopados com e , com uso de um espectroscópio de infravermelho e de um difrator de raios-x, obtendo-se para o comprimento de onda de 980 nm com a maior excitação e ocorrência do fenômeno. Já em R. Salhi *et al.* (2015) se depositou Er: em uma célula de silício usando se um aerosol-UV observando-se que o tinha seu pico de absorção para o comprimento de onda de 480 nm.

Pontos quânticos (PQ) são materiais luminescentes que podem ser usados para absorver a radiação não absorvida pelos UCs, e posteriormente reemitir a radiação no intervalo que possa ser aproveitada pelos UCs. Devido a sua alta capacidade de absorção e emissão pode ser facilmente combinado com qualquer material que tenha o seu pico de emissão entre 850 nm a 1900 nm. O objetivo ao se acoplar os PQ aos UCs é aproveitar a propriedade dos primeiros em absorção e emissão para se melhorar a eficiência dos UCs (Pan *et al.*, 2014)

Este trabalho objetiva estudar o comportamento óptico de UC e de PQ comerciais para aplicação em células solares bifaciais com o intuito de aumentar a sua eficiência com baixo custo.

## 2. METODOLOGIA

Neste trabalho UCS e PQ comerciais, empresas *Phosphors Tecnology*, *Evident Tecnoloy* e *Maxmax*, foram utilizados. Todos os UCs analisados foram distribuídos em forma de um pó e os PQ em forma líquida. O método usado para introduzi-los na CSB de silício foi durante o encapsulamento para formação do módulo fotovoltaico, mediante um silicone em gel (Pan *et al.*, 2014).

Preparou-se 24 amostras com diferentes concentrações de UCs e PQ numa base de silicone para caracterização óptica. Foram misturadas as duas partes do elastômero (3 ml de base + 0,3 ml de agente curador segundo a orientação do fabricante) a diferentes massas de UC e diferentes volumes de PQ. Uma descrição mais detalhada da preparação das amostras como da montagem do módulo fotovoltaico se encontra em Pan *et al.*(2014). Na Tab. 1 pode-se ver a composição química para cada amostra.

As medidas de refletância e transmitância foram feitas com o espectrômetro LAMBDA 950 UV/Vis/NIR, do fabricante *Perkin Elmer*, para análise óptica das amostras. Utilizou-se o intervalo de 300 nm a 2100 nm para todas as análises.

Para as medidas de fotoluminescência utilizou-se um espectrômetro FTIR (*Bruker IFS66v*), equipado com um criostato de fluxo (*Oxford*) e um detector de Ge. A excitação das amostras se efetua com um laser de Ar, utilizando dois modos diferentes: modo multilinear no qual utilizam todas as linhas do laser (entre 454.6 e 514.5 nm); e modo com uma única linha, utilizado os comprimentos de onda entre 488,0 e 514,5 nm. Dois filtros foram usados no sistema, o primeiro para selecionar os comprimentos de onda e o segundo junto ao detector para não saturar o mesmo. Desta forma, pode-se garantir que não se obterá comprimentos de onda ressonantes da excitação nas medidas.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Refletância e transmitância

A Tab. 1 mostra o valor obtido para refletância e transmitância de todas as amostras analisadas para o comprimento de onda de 1500 nm. A escolha desse comprimento de onda foi para elucidar os resultados, pois os UCs utilizados são codopados com que absorvem próximo a 1530 nm. E também, para esse comprimento a CSB não

absorve, pode-se analisar especificamente o comportamento do UC. Para o experimento usou-se como parâmetro a Amostra 1, amostra de silicone puro sem acréscimo de UC ou PQ, com uma concentração de 3,3 mL de silicone.

Tabela 1 - Composição química e medidas de refletância e transmitância para o comprimento de onda de 1500 nm.

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO	REFLETÂNCIA(%)	TRANSMITÂNCIA(%)
1	3,3 mL silicone	5,64 4,07	87,43 1,88
2	PTIR 545/F 0,5g	63,59 1,03	11,15 4,25
3	PTIR 545/F 1,0g	70,49 0,8	11,05 1,34
4	PTIR 545/UF 0,5g	70,82 0,99	4,75 6,90
5	PTIR 545/UF 1,0g	82,98 0,85	1,99 3,68
6	PTIR 545/F 0,5 g + 0,2mL PbS	75,80 0,92	7,83 7,35
7	PTIR 545/F 1,0 g + 0,2mL PbS	67,59 0,26	6,53 6,75
8	PTIR 545/UF 0,5 g + 0,1mL PbS	60,22 2,81	2,81 16,63
9	PTIR 545/UF 1,0 g + 0,1mL Pbs	8,60 2,10	1,13 1,90
14	PTIR 545/F 0,5 g + 0,1mL PbS	60,94 3,54	14,63 7,38
15	PTIR 545/F 1,0 g + 0,1mL PbS	68,28 2,19	8,68 3,22
16	PTIR 545/UF 0,5 g + 0,2mL PbS	73,23 2,13	8,40 2,48
17	PTIR 545/UF 1,0 g + 0,2mL PbS	80,87 1,04	2,70 6,24
18	PTIR 545/UF 1,0 g + 0,3mL PbS	81,80 1,04	2,21 4,06
19	PTIR 545/UF 1,5 g + 0,2mL PbS	83,58 1,23	0,97 2,60
20	PTIR 545/UF 1,5 g + 0,3mL PbS	83,07 1,75	1,26 6,13
21	PTIR 545/UF 0,5 g + PTIR 545/F 0,5 g + 0,1 mL PbS	77,02 3,43	3,54 0,03
22	PTIR 545/F 1,0 g + 0,2 mL PbS	69,45 0,73	7,28 7,79
23	PTIR 545/F 1,0 g + 0,3 mL PbS	69,74 0,66	5,37 4,95
24	PTIR 545/F 1,5 g + 0,2 mL PbS	73,91 0,87	3,02 5,85
25	PTIR 545/F 1,5 g + 0,3 mL PbS	71,35 0,86	2,43 3,53
26	IRUCR 0,5 g	60,75 0,76	20,59 5,18
27	IRUCG 0,5 g	74,39 0,84	8,40 4,50
28	IRSPG 0,5 g	43,94 1,72	32,47 3,44

Observando os dados da Tab. 1 pode se ver claramente que as amostras que tiveram menor valor de transmitância foram 5, 9, 17, 18, 19, 20 e 25, nota-se que com o aumento da concentração de UC e PQ diminuiu o valor da transmitância. Para as medidas de refletância as amostras que tiveram maior valor medido foram as 17, 18, 19, 20. O menor valor de transmitância medido foi o da amostra 19, cuja concentração de UC é maior e possui valor intermediário de PQ. Percebe-se para todas as amostras que o UC PTIR545/UF é o mais indicado para a implementação em células solares.

Na Fig. 1 é realizada uma comparação das medidas de refletância e transmitância para as amostras 2, 4, 26, 27 e 28. Nessas amostras foram usados diferentes tipos de UC a mesma concentração sem a adição de PQ. O objetivo de comparar essas amostras foi analisar melhor o comportamento dos diferentes UCs. Analisando os gráficos da Fig. 1 pode se constatar que o PTR545/UF foi a amostra que apresentou menor transmitância, aproximadamente 5 % se for considerado o comprimento de onda de 1500 nm analisado na Tab.1. A amostra 4 apresenta os melhores resultados de refletância ao longo de todo espectro representado. Para o comprimento de onda de 1500 nm a amostra 27 composta pelo IRUCG possui uma maior refletância, 75 %, valor próximo ao da amostra 4, 71 %. Inversamente a amostra 28, IRSPG apresentou o menor valor de refletância, 46 % em 1500 nm, mas foi a que teve maior transmitância, 35%. O que mostra uma variação de até 30 % entre a maior e a menor transmitância e 29% para as refletâncias analisadas na Fig. 1 para 1500 nm.

Com o intuito de comparar amostras de mesma concentração de PTR545/UF com variações da concentração de PQ elaborou-se o gráfico da Fig. 2, onde são mostradas as medidas de refletância e a transmitância para ( amostras 5, 9, 17 e 18). Os resultados mostram que quando adicionados os PQ é obtido uma diminuição significativa da transmitância e refletância para o intervalo de 300 a 1500 nm, porém para comprimentos de onda superior a 1500 nm a diferença das respostas entre as amostras é praticamente desprezível (em torno de 5% entre o melhor resultado (amostra 5) e o pior (amostra 18)). A diminuição nessa faixa ocorre devido que o ativador quando absorve energia na faixa de 975 nm ao transferir essa energia para o sucedem vários processos intermediários de emissão radioativa, em Wei Chen *et al.*(2015) o funcionamento desse processo é demonstrado em células solares orgânicas. O aumento da eficiência desse processo demonstra que a adição dos PQ ajuda aumentar a absorção de radiação infravermelha pelo UC. Os resultados mostram que aumentando a concentração de PQ melhora a eficiência, porém a amostra 17 foi a que obteve menor refletância mesmo com uma quantidade de PQ inferior a amostra 18. Segundo B. C. Rowan *et al.* (2008) o aumento da concentração dos PQ pode favorecer a formação de clusters que podem causar perdas por espalhamento e por

reabsorção, tais fatores seriam teoricamente os responsáveis por esse resultado diferenciado da amostra 17 e da 18. Dessa forma há um pico onde a quantidade de dopagem com PQ teria uma eficiência máxima. Em S. Chandra *et al.* (2015) é calculado esse limite para uma célula solar de 60 mm x 40 mm x 2 mm dopado com PQ de CdSe/ZnS usando-se um espectrômetro.

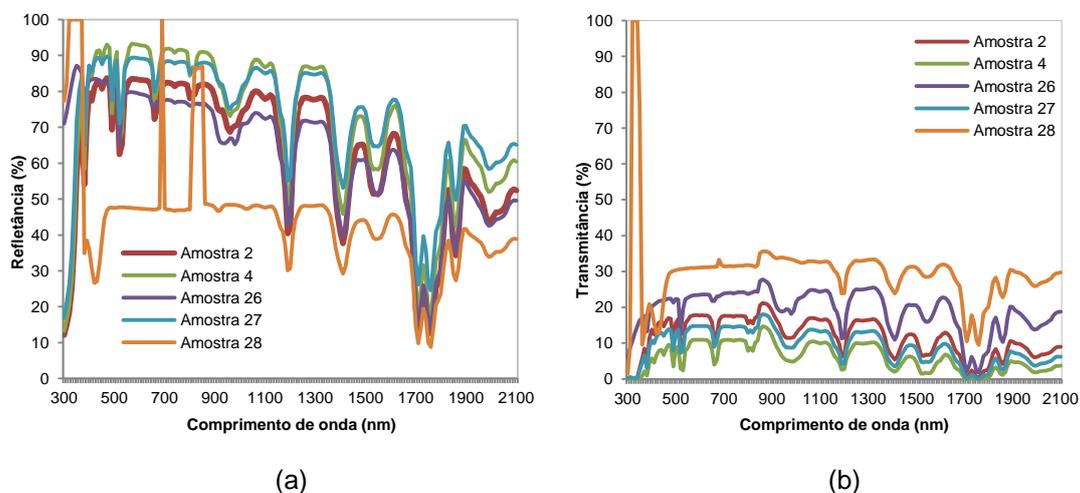


Figura 1 - Medidas das amostras 2, 4, 26, 27 e 28 de (a) refletância e (b) transmitância

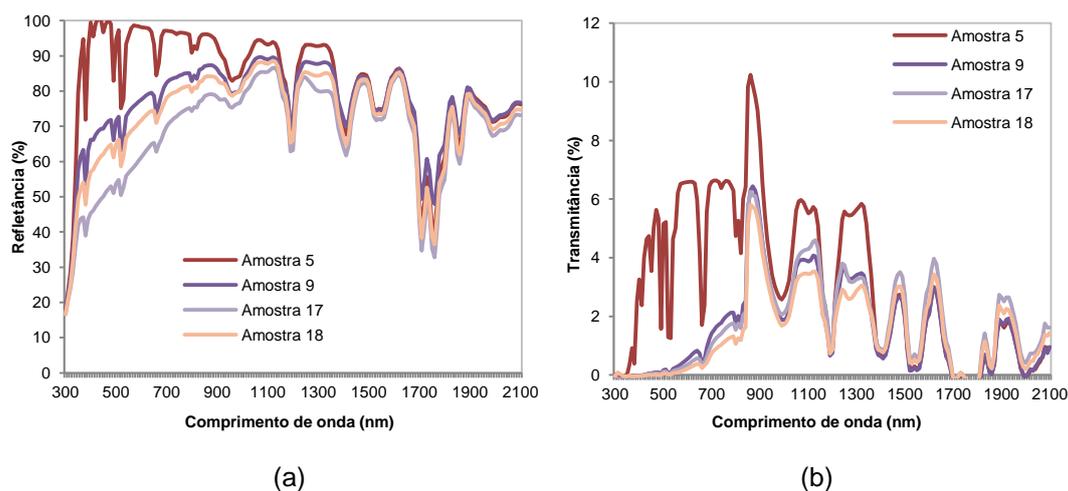


Figura 2 - Medidas das amostras 5, 9, 17 e 18 de (a) refletância e (b) transmitância.

Na Fig. 3 é comparada a refletância e a transmitância das amostras 2, 4, 8, 14 e 21. As amostras 2 e 4 possuem respectivamente PTIR545/F e PTIR545/UF com a mesma concentração de UC, e são UCs vendidos pela mesma empresa e com características similares. A refletância medida da amostra 2 é menor em relação a amostra 4, porém sua transmitância é maior. As amostras 8 e 14, que possuem a mesma quantidade de UC porém foram adicionadas os PQ, obtêm-se valores menores de transmitância e refletância para o intervalo de 300 a 900 nm. A amostra 21 combina os dois melhores UC comerciais medidos com a adição de PQ, e é a que possui a menor transmitância com uma diferença de até 15% para a maior refletância à 1500 nm.

### 3.2 Fotoluminescência

A fotoluminescência é a emissão de radiação eletromagnética (fótons) de um material, após este ter sido submetido a uma excitação luminosa. O espectro de fotoluminescência é diretamente uma demonstração do processo de UC, tendo que a excitação do laser que se utiliza no trabalho (variando os comprimentos de onda entre 488 nm e 514.5 nm) se mede a emissão próxima ao infravermelho. Sem restrição, não foi possível detectar as informações de fotoluminescência nos comprimentos de onda da luz visível, dificultando assim algumas das principais transições do UC com o  $\text{Er}^{3+}$  ( $^4\text{I}_{9/2}$ ,  $^4\text{F}_{9/2}$ ,  $^4\text{H}_{11/2}$ ) (Pan, 2009). As principais informações adquiridas com esses espectros de fotoluminescência são analisadas através dos níveis de energia nos íons  $\text{Yb}^{3+}$  e  $\text{Er}^{3+}$ . A Fig. 4 mostra as medidas de fotoluminescência das amostras 3, 5, 7, 9, 15, 17, 18, 21 e 23 realizadas.

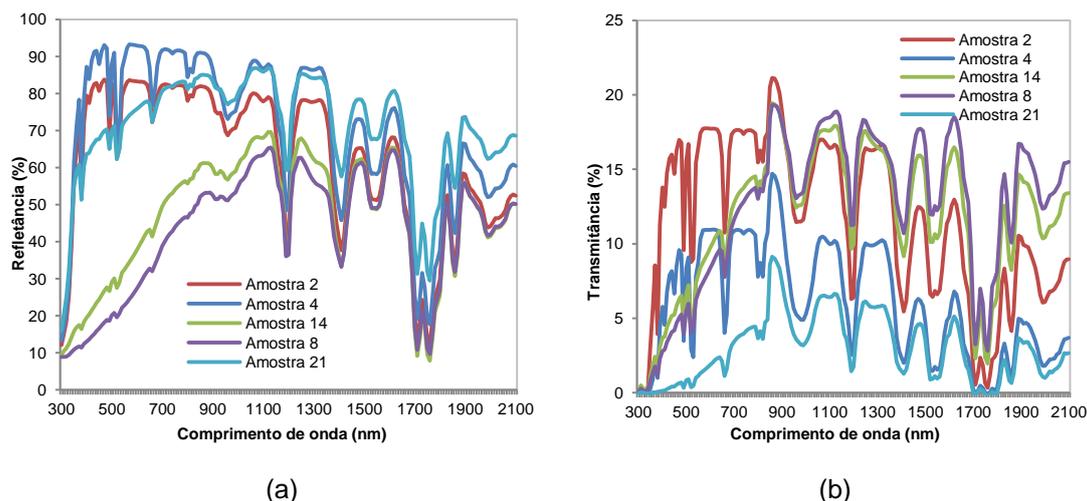


Figura 3 - Medidas das amostras 2,4,8,14 e 21 de (a) refletância e (b) transmitância.

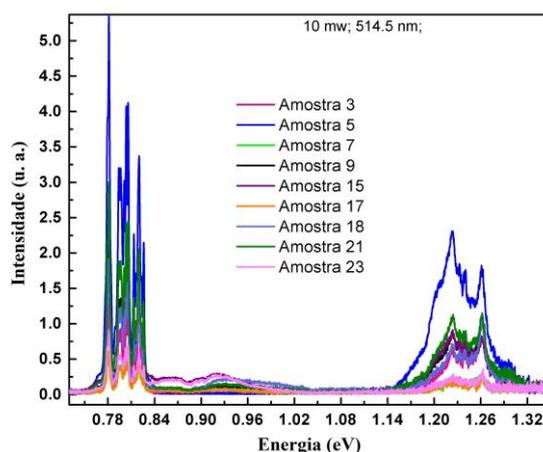


Figura 4 - Medidas de fotoluminescência das amostras 3, 5, 7, 9, 15, 17, 18, 21 e 23.

Observa-se na Fig. 4 que a amostra 5 composta do PTIR545/UF sem adição de PQ obteve o maior resultado (intensidade do fóton reemitido), mas a partir do intervalo de energia de 0,84 eV até aproximadamente 1,08 eV tem-se uma queda brusca. A amostra 21 que obteve a menor transmitância no gráfico da Fig.3 se manteve como o segundo maior resultado, não sofrendo uma queda na intensidade. As amostras 7, 17 e 23 obtiveram os resultados mais baixos para o intervalo de energia de 0,8 eV e 0,9 eV.

#### 4. CONCLUSÃO

Fez-se uma análise de transmitância, refletância e fotoluminescência dos UCs e PQs anteriormente estudados por Pan *et al* (2014), e de três novas amostras comerciais, amostras 26, 27 e 28. Os UCs com PTIR545/UF demonstraram os resultados mais promissores, principalmente associados aos PQ. Pois, apresentam uma redução considerável na transmitância e uma excelente absorvância para os comprimentos de onda onde a célula solar não responde.

Percebe-se nas medidas de fotoluminescência que o composto PTIR545/UF sem adição de PQ tem uma resposta melhor (maior intensidade do fóton reemitido), o que pode se explicar através do fato de que a saturação de PQ favorece a formação de clusters que aumentam as perdas por espalhamento.

As três medidas realizadas nos indicam similares características dos UCs e PQ, o que demonstra a veracidade da caracterização proposta.

#### REFERÊNCIAS

Bloembergen, N. 1959. Solid State Infrared Quantum Counters. Physical Review Letters. vol. 2, pp. 84-85.

- Cointe, B., 2015. From a promise to a problem: The political economy of solar photovoltaics in France. *Energy Research & Social Science*, vol. 8, pp. 151-161.
- Chandra, S., McCormack, S. J., Kennedy, M., Doran, J., 2015. Quantum dot solar concentrator: Optical transportation and doping concentration optimization. *Solar Energy*, vol. 115, pp. 552-561.
- Gallagher, S. J., Rowan, B. C., Doran, J., Norton B., 2007. Quantum dot solar concentrator: Device optimization using spectroscopic techniques. *Solar Energy*, vol. 81, n. 4, pp. 540-547.
- Gallagher, S. J., Norton, B., Eames, P.C., 2007. Quantum dot solar concentrators: electrical conversion efficiencies and comparative concentrating factors of fabricated devices. *Solar Energy*, vol. 81, n. 6, pp. 813-821.
- García-Olivares, A., Ballabrera-Poy, J., 2015. Energy and mineral peaks and a future steady state economy. *Tecnological Forecasting & Social Change*, vol. 90, pp. 587-598.
- Gilbart, P., Auzel, F., Guillaume, J., Zahraman, K. 1996. *Japan Society of Applied Physics*, vol. 35, pp. 4401-4402.
- Jebli, M. B., Youssef, S. B., Ozturk, I., 2016. Testing environmental Kuznets curve hypothesis: role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. *Ecological Indicators*, vol. 60, pp. 824-831.
- Ludwiczak, B., Jantsch., W., 2015. Color deviations in phosphors converted high power light emitting diodes under different dimming schemes. *Journal of Luminescence*, vol. 158, pp. 384-389.
- Pan, A. C., 2004. Processos de fabricação de células solares bifaciais em fornos de aquecimento rápido, Dissertação de Mestrado, PGETEMA, PUCRS, Porto Alegre.
- Pan, A. C. Canizo, C., Luque, A., 2007. Thin Bifacial Silicon Solar Cell, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milão, pp. 1438-1442.
- Pan, A. C., Canizo, C., Luque, A., 2009. Characterization of up-converter layer on bifacial silicone solar cells, *Materials Science and Engineering B*, vol. 159-160, pp. 212-215.
- Pan, A. C., 2009. Convertidores Fotônicos para Células Solares Bifaciales de Silício, Tese de Doutorado, IES, UPM, Madri.
- Pan, A. C. et al., 2010. Enhancement of up-conversion efficiency by combining rare earth-doped phosphors with PbS quantum dots, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, n. 94, pp.1923–1926.
- Pan, A. C. et al., 2014. Análise Óptica da Implementação de Conversores Fotônicos e Pontos Quânticos em Células Solares Bifaciais de Silício, V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Rowan, B. C., Wilson, L. R., Richards, B. S., 2008. Advanced material concepts for luminescent solar concentrators. *IEEE Quant. Elect.*, vol. 14, n. 5, pp. 1312-1322.
- Salhi, R., Deschanvres, J. 2015. Efficient upconversion in  $\text{Er}^{3+}$  doped  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  thin film deposited by aerosol UV-assisted MOCVD process.
- Shalav et al., 2005. Application of  $\text{NaYF}_4:\text{Er}^{3+}$  up-converting phosphors for enhanced near-infrared silicon solar cell response. *Applied Physics Letters*. Vol. 86, pp. 13505/1-13505/3.
- Shalav, A., Richards, B., Green, M., 2007. Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: up-conversion, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 91, pp. 829-842.
- Shockley, W., Queisser, H., 1961. Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells, *Journal of Applied Physics*, vol. 32, n. 3, pp. 510-519.
- Strümpel, C. et. al., 2007. Modifying the solar spectrum to enhance silicon solar cell efficiency—an overview of available materials, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 91, n. 4, pp. 238-249.
- Sun, M., et al., 2014. Comparison of up-converted emissions in  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$  co-doped  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  and  $\text{Er}^{3+}$  phosphors. *Journal of Luminescence*, vol. 152, pp. 218-221.
- Trupke, T., Green, M., Würfel, P., 2002. Improving solar cell efficiencies by up-conversion of sub-band-gap light, *Journal Applied Physics*, vol. 92, n. 7, pp. 4117-4122.
- Vaona, A., 2016. The effect of renewable energy generation on import demand. *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 354-359.
- Zha, C., Osvath, P., Launikonis, A., Scully, A. D., 2014. Efficient monochromatic red, green, and blue up-converted luminescence from  $\text{Er}^{3+}$ -doped micro-phosphors co-doped with  $\text{Pr}^{3+}$  or  $\text{Sm}^{3+}$  ions. *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 603, pp. 136-143.

## STUDY OF OPTICAL PERFORMANCE OF COMMERCIAL UP CONVERTERS AND QUANTUM DOTS FOR APPLICATION IN BIFACIAL SOLAR CELLS

**Abstract.** Combine lower production costs with high efficiency currently it has been a major challenge for the development of solar cells. Then, the objective for this work is to study of optical performance of commercial up converters and quantum dots for application in bifacial solar cells. These materials have properties of absorbing infrared radiation and re-emit visible radiation, and thus the bifacial solar cells can improve the efficiency of solar cell. 24 samples is prepared in a silicone gel, similar to that used in the encapsulation of solar cells for photovoltaic module of the composition, with different concentrations of up converters and quantum dots. To study the performance optical of commercial up converters and quantum dots used the reflectance, transmittance and photoluminescence. PTIR545/F converter showed the most promising results, mainly associated with quantum dots. For exhibit considerable reduction in transmittance and an excellent absorbance for wavelengths where the solar cell does not respond. The three

*measurements indicate similar characteristics of the quantum dots and up converters demonstrating the veracity of the proposal characterization.*

**Key words:** *Up converters, Quantum dots, Solar Cell*