



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 06 – Ano III – 10/2014
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Preparação e caracterização de nanomateriais contendo pontos quânticos de CdTe e nanotubos de carbono para aplicações em dispositivos fotovoltaicos

Kayo de Oliveira Vieira
Doutorando Programa de Pós-Graduação em Física e Química de Materiais da
Universidade Federal de São João del-Rei - MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6517961993605221>
E-mail: kayoa1@hotmail.com

Prof. Dr. Jefferson Luis Ferrari
Grupo de pesquisa em Química de Materiais – GPQM
Departamento de Ciências Naturais da
Universidade Federal de São João del-Rei - MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0514228518147484>
E-mail: ferrari@ufsj.edu.br

Prof. Dr. Marco Antônio Schiavon
Grupo de pesquisa em Química de Materiais- GPQM
Departamento de Ciências Naturais da
Universidade Federal de São João del-Rei - MG - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2486121889068339>
E-mail: schiavon@ufsj.edu.br

Resumo: Células solares oferecem uma oportunidade para diversificar as fontes de energia. No entanto é necessário melhorar a sua eficiência de conversão e reduzir o custo de produção para o desenvolvimento de uma tecnologia sustentável. Os nanomateriais podem contribuir para o desenvolvimento necessário para se conseguir utilizar de modo mais eficiente a energia solar. A incorporação de nanocompósitos é uma estratégia para melhorar a separação e transporte de carga em células solares para melhorar a conversão de energia. No presente trabalho foi reportado a síntese e caracterização de nanocompósitos envolvendo nanotubos de carbono e pontos quânticos de CdTe, e nanotubos de carbono revestidos com uma nanocamada de sílica. Estes nanocompósitos apresentam propriedades que possibilitam aplicações em dispositivos fotovoltaicos.

Palavras-chave: Nanomateriais. Nanocompósitos. Pontos quânticos. Células solares.

INTRODUÇÃO

A importância dos materiais na vida humana é tão significativa, que as diferentes eras do início da civilização foram definidas de acordo com a relação (e o domínio) do homem com os materiais, como a idade da pedra, do bronze e do ferro. A utilização, o domínio, o desenvolvimento e a exploração de diferentes materiais têm uma profunda influência no desenvolvimento social e estão intimamente relacionadas a aspectos socioeconômicos, culturais, geográficos, demográficos, ambientais, dentre outros (ZARBIN, *et al.*, 2007, p. 1469-1479).

A nanociência e a nanotecnologia têm atraído considerável atenção nos últimos anos, pela expectativa do impacto que os materiais nanoestruturados podem causar na qualidade de vida e na preservação do meio ambiente (FERREIRA, *et al.*, 2009, p. 1860-1870). Espera-se que o avanço da nanociência e da nanotecnologia estimule não apenas a exploração de novos fenômenos e novas teorias, mas também conduza a uma nova revolução industrial também conhecida como a “revolução nano” que promete produtos inovadores em áreas estratégicas como, por exemplo, a de energia, medicina, informação, segurança, ambiente e indústria, tornando-se a nova força motora do crescimento econômico neste século (MARTINS, *et al.*, 2012, p. 1434-1446).

A pesquisa e o desenvolvimento, em nanotecnologia, visam manipular estruturas na escala nano e integrá-las para formar componentes e sistemas maiores. As

possibilidades são quase infinitas e se prevê que a nanotecnologia exerça um efeito mais profundo na sociedade do futuro, que o impacto causado pelos automóveis, aviões, televisões e computadores, no século XX. Espera-se que muitos dos importantes impactos devam vir do aumento das velocidades das reações, através do uso de nanocatalisadores e da integração da eletrônica molecular com a tecnologia avançada do silício e também do aproveitamento de fontes de energias limpas e renováveis (FERREIRA, *et al.*, 2009, p. 1860-1870).

A importância do desenvolvimento de novas formas para obtenção de energia é evidente, visto que o consumo global de energia tem sido acelerado a uma taxa alarmante, devido à rápida expansão econômica, aumento da população mundial, e a crescente dependência humana em relação ao consumo de energia. Estima-se que o mundo terá que dobrar seu fornecimento de energia até o ano de 2050. A maior parte da energia consumida no mundo é derivada de combustíveis fósseis. (DILLON, *et al.*, 2010, p. 6856–6872). Embora sejam muito grandes as reservas de petróleo, gás e carvão em todo mundo, a disponibilidade desses recursos fósseis diminuem com o uso. A discussão sobre quando ocorrerá o esgotamento dessas fontes é irrelevante diante da certeza de que são recursos finitos. Além de serem limitadas são causadores de diversos danos ambientais, sendo um deles o aquecimento global, devido às reações necessárias para conversão de energia a partir de combustíveis fósseis produzirem gases que intensificam o efeito estufa (DAI, *et al.*, 2012, p.1130–1166). Os graves impactos ambientais de uma sociedade que vive a base de combustíveis fósseis, juntamente com a diminuição destes recursos, impõe que alternativas para utilização de recursos energéticos renováveis devam ser desenvolvidas. (PEET, *et al.*, 2009, p. 1700-1708). Os efeitos sobre o meio ambiente se tornaram mais importantes que nunca para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis (RATIER, *et al.*, 2012, p. 342–354).

O sol nos fornece uma fonte de energia renovável, que não se esgota e não têm efeito ambiental nocivo. Desde que o cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico, em 1839, os cientistas e engenheiros têm dedicado esforços consideráveis para realizar o sonho de poder converter a energia solar diretamente em eletricidade pelo efeito fotovoltaico para atender nossas necessidades energéticas de cada dia. Depois de mais de 170 anos, este sonho ainda não foi

realizado. No entanto, um imensucesso tem sido feito desde o desenvolvimento da primeira célula solar de silício cristalino. Embora seja possível obter uma eficiência de conversão de 35% em células solares de silício em escala de laboratório, o uso generalizado dessa tecnologia em dispositivos fotovoltaicos, ainda é limitado devido ao seu alto custo de produção e processos complexos de fabricação (DAI, *et al.*, 2012, p.1130–1166). Apesar de uma redução substancial do custo das células solares de silício ao longo dos últimos 50 anos, sua aplicação atualmente não é economicamente viável por causa do custo mais elevado comparando com fontes de energia tradicionais (PEET, *et al.*, 2009, p. 1700-1708). Contudo, estima-se que o custo da energia solar vai diminuir cerca de 10% ao ano na próxima década devido a avanços tecnológicos nesta área, e o custo da energia solar poderá se igualar a dos combustíveis fósseis em um futuro próximo (DILLON, *et al.*, 2010, p. 6856–6872).

Os materiais podem contribuir sobremaneira para alavancar o desenvolvimento necessário para se conseguir utilizar de modo mais eficiente a energia solar. Por exemplo, as células solares de segunda geração podem ser feitas de diferentes materiais semicondutores, orgânicos ou inorgânicos, cada qual com vantagens e desvantagens intrínsecas. Os três tipos principais de células que têm dominado a pesquisa nos últimos anos incluem: células solares sensibilizadas por corante (DSSC) (YUNE, *et al.*, 2013, p. 488–496), células fotovoltaicas poliméricas (PEET, *et al.*, 2009, p. 1700-1708), e células solares sensibilizadas por pontos quânticos (PQs) (QDSC) (KAMAT, 2012, p.1906–1915).

Arranjos de nanoestruturas têm facilitado a evolução de novas estratégias para projetar a próxima geração de células solares. Células solares fotovoltaicas contendo diferentes nanomateriais têm chamado à atenção devido a fatores como: simplicidade do processo de síntese, larga faixa de absorção de luz, e capacidade para conceber painéis solares flexíveis. Diversos nanomateriais tem sido preparados para a construção de dispositivos fotovoltaicos, buscando-se rendimentos de conversão cada vez maiores com preços reduzidos. Assim, atualmente, vários grupos de pesquisa buscam desenvolver novos materiais com propriedades específicas para serem utilizados para aumentar a eficiência de dispositivos fotovoltaicos e também para dispositivos de armazenamento de energia (PEET, *et al.*, 2009, p. 1700-1708). A

nanotecnologia tem aberto novas fronteiras em ciência de materiais para enfrentar estes desafios, por meio da melhoria e desenvolvimento de novas técnicas de caracterização e síntese de nanomateriais. Alguns tipos de nanomateriais que tem se destacado são os nanomateriais de carbono (NMCs) e pontos quânticos (PQs). Esses materiais possuem propriedades que são interessantes tanto do ponto de vista científico quanto tecnológico. Comparado a materiais convencionais, os nanomateriais possuem propriedades específicas dependendo do seu tamanho e superfície (por exemplo, morfologia, propriedades elétrica, ópticas e mecânicas) úteis para melhorar a conversão e armazenamento de energia (RATIER, *et al.*, 2012, p. 342–354).

Uma vantagem específica dos pontos quânticos de semicondutores nanocristalinos é que o seu espectro de absorção pode ser ajustado pela alteração do tamanho do ponto quântico. Os pontos quânticos (PQs) de semicondutores nanocristalinos (NCs) apresentam dimensões nanométricas, tipicamente inferiores a 10 nm. Este tamanho reduzido faz com que o éxciton sofra um forte confinamento quântico nas três dimensões, o que lhes confere algumas propriedades ópticas interessantes como a forte dependência de emissão em função do tamanho das partículas. Atualmente, os pontos quânticos dos sistemas binários II-VI e III-V são os mais estudados para uso em dispositivos opto-eletrônicos, fotovoltaicos e biomédicos (SILVA, *et al.*, 2010, p.1933-1939).

As primeiras formas alotrópicas de carbono descoberto pela humanidade foram o carbono amorfo, grafite e diamante (DAI, *et al.*, 2012, p.1130–1166). No entanto, a descoberta dos nanotubos de carbono em 1991, em conjunto com os fulerenos descobertos por Kroto, Smalley e Curl em 1985 (IJIMA, 1991, p.56–58) e a obtenção do grafeno na década anterior estimularam intenso interesse em nanoestruturas de carbono e abriram um novo e excitante campo na ciência e tecnologia do carbono e suas formas alotrópicas nanoestruturadas (GUOAB, *et al.*, 2011, p. 2644–2672).

Mais recentemente, pontos quânticos de carbono, tem sido estudados como interessantes nanopartículas luminescentes e não tóxicas. (HU, L. *et al.*, 2014, p.508–513) Os nanomateriais de carbono têm atraído interesse para diversas aplicações promissoras como em biossensores, liberação controlada de drogas e principalmente em conversão de energia (ZHU, *et al.*, 2012, p. 9367–9369).

O interesse em novas rotas para geração de energias alternativas, incluindo a conversão de energia solar em eletricidade tem aumentado rapidamente nos últimos anos (PEET, *et al.*, 2009, p. 1700-1708). Embora as células fotovoltaicas baseadas em heterojunções de materiais a base de silício sejam disponíveis comercialmente há muitos anos, no Brasil sua comercialização ainda é muito pouco difundida. Antes do ano de 2011, pouco havia sido feito para impulsionar o uso da energia fotovoltaica no país. Em comparação com outros países que concentram a maior parte da geração fotovoltaica no mundo, o Brasil é muito privilegiado para exploração dessa fonte de energia, pois recebe elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões (VillaVla, 2012).

Neste trabalho são apresentados resultados da síntese e caracterização morfológica de heteroestruturas nanométricas envolvendo pontos quânticos de semicondutores nanocristalinos coloidais, como o CdTe, obtidos em meio aquoso, e nanotubos de carbono, além de nanotubos revestidos com uma nanocamada de sílica. A caracterização aqui discutida está relacionada principalmente com a morfologia dos materiais obtidos e suas potenciais aplicações em células solares.

DESENVOLVIMENTO

SÍNTESE DE PONTOS QUÂNTICOS DE CdTe, DISPERSOS EM ÁGUA.

Para a preparação dos nanocompósitos visando aplicações em células solares, inicialmente foi necessário sintetizar os pontos quânticos de CdTe com ácido 3-mercaptopropiônico como ligante de superfície (CdTeMPA). Os PQs foram sintetizados usando a rota descrita na referência (SILVA, *et al.*, 2012, p.536-546). O tamanho destes nanocristais foi controlado pelo tempo de reação e apresentam dimensões nanométricas, tipicamente inferiores a 10 nm. Este tamanho reduzido lhes confere algumas propriedades ópticas interessantes como a forte dependência da cor de emissão em função do tamanho das partículas. Na Figura 1a podemos observar as diferentes cores de emissão em função do tamanho da nanopartícula. O ácido 3-mercaptopropiônico cuja fórmula molecular está representada na Figura 1b, é um

ligante de superfície que tem a função de controlar o crescimento, formar dispersões estáveis em água, e fazer a ligação entre os pontos quânticos e outros nanomateriais. Na Figura 1c temos uma representação esquemática de um ponto quântico com ácido 3-mercaptopropiônico como ligante de superfície ligado pelo átomo de enxofre e com carga superficial negativa, acima de pH neutro, devido à ionização do grupo carboxílico da molécula de MPA. A Figura 1d apresenta a imagem de microscopia eletrônica de transmissão de pontos quânticos de CdTe com ácido 3-mercaptopropiônico, em que é possível observar que as nanopartículas de CdTe apresentaram uma morfologia esférica com distribuição de tamanhos homogêneo e inferior 10 nm.

No caso das QDSCs, em geral o material que ira absorver a luz solar são os PQs, os elétrons absorvem os fótons da luz solar e são promovidos para níveis mais energéticos. Esses elétrons excitados, quando em um sistema arranjado, são injetados em um semicondutor de “*band gap*” largo, tais como TiO_2 ou ZnO (óxido de zinco) ou em nanotubos de carbono, gerando assim uma corrente de elétrons. Os buracos gerados são regenerados por um par redox num sistema fotovoltaico. Apesar do interesse recente em pesquisa de QDSCs, as eficiências de conversão de energia mantiveram-se abaixo de 5%. Desta forma, uma melhor compreensão dos fatores que limitam o aumento da eficiência de conversão é necessário para melhorar ainda mais a eficiência de QDSCs (KAMAT, 2012, p.1906–1915).

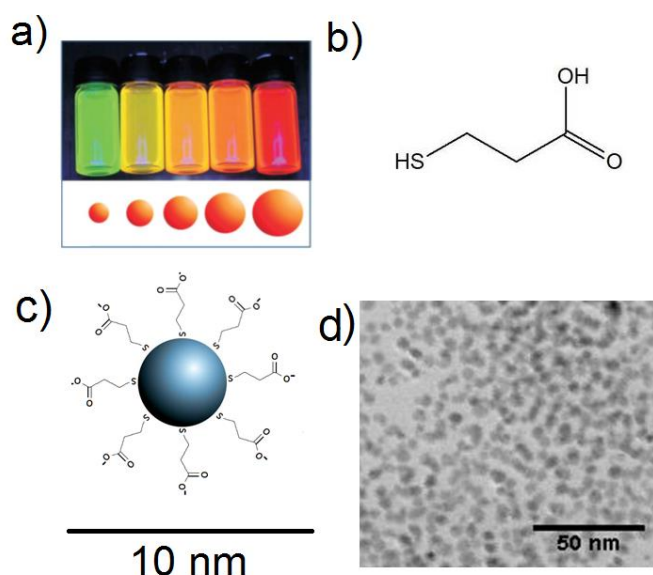


Figura 1: a) Variação das cores de emissão de dispersões coloidais aquosas de pontos quânticos de CdTe (SILVA, *et al.*, 2010, p.1933-1939), b) estrutura molecular do ácido 3-mercaptopropiônico, c) esquema de pontos quânticos de CdTe com ácido 3-mercaptopropiônico na superfície e d) imagem de microscopia eletrônica de transmissão de pontos quânticos de CdTe (SILVA, *et al.*, 2012, p.536-546).

PREPARAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS HETEROESTRUTURADOS ENVOLVENDO NANOTUBOS DE CARBONO E PONTOS QUÂNTICOS DE CdTe.

A montagem de nanocompósitos de nanopartículas semicondutores, como pontos quânticos, em matrizes tem sido estudada por suas promissoras aplicações em optoeletrônica. Para melhorar a foto-corrente gerada em sistemas de células fotovoltaicas, pesquisas têm se voltado para o estudo de matrizes eficientes para o transporte de elétrons, tais como polímeros condutores, grafeno nanotubos de carbono, óxido de zinco e dióxido de titânio (Olek, *et al.*, 2006, p. 12901-12904).

Um exemplo da montagem deste tipo nanocompósitos é formação do híbrido orgânico inorgânico envolvendo a deposição pontos quânticos na superfície de nanotubos de carbono. Nanotubos de carbono podem ser usados como modelos para a formação de fios lineares que apresentam aplicações promissoras como componente integrante de dispositivos ópticos e eletrônicos. Todas essas aplicações requerem uma melhor compreensão da influência da separação entre NTCs e PQs e nas propriedades ópticas e eletrônicas do sistema resultante. Já foram relatadas na literatura diversas junções de nanotubos de carbono com CdTe CdSe (BANERJEE, *et al.*, 2002, p. 195-200) e ZnS revestindo CdSe. O desenvolvimento das junções de pontos quânticos/nanotubos de carbono é resultante do desenvolvimento e da evolução da modificação química de superfície dos nanotubos de carbono (Olek, *et al.*, 2006, p. 12901-12904).

Nós realizamos a montagem de nanocompósitos de pontos quânticos de CdTe em matrizes de NTCs (VIEIRA, K. O, *et al.*, 2014, submetido para Mater. Chem.Phys.). A formação destas heteroestruturas foi realizada com sucesso por meio da

funcionalização não-covalente dos NTCs usando cobertura com polímeros para ocorrer a interação entre os pontos quânticos de CdTe e os NTCs. Este método de funcionalização é um método não destrutivo, ou seja, a estrutura sp^2 dos carbonos da estrutura dos nanotubos é mantida, preservando assim suas propriedades eletrônicas. Na busca de métodos de funcionalização optamos pela funcionalização não-covalente, usando recobrimento com polímeros associadas com técnicas de automontagem camada por camada, uma vez que esta técnica tem-se mostrado, como um método bem sucedido para a preparação de nanocompósitos envolvendo nanotubos de carbono ligados a diferentes tipos de nanomateriais incluindo nanopartículas de ouro (Correa-Duarte, M. A, *et al.*, 2004, p.2179–2184) e diferentes tipos de PQs (Olek, *et al.*, 2006, p. 12901-12904).

A técnica de automontagem camada-por-camada é baseada na alternância de adsorção de monocamadas de componentes individuais (incluindo polieletrólitos) atraídos um pelo outro por interações eletrostáticas e/ou de Van der Waals (Correa-Duarte, M. A, *et al.*, 2004, p.2179–2184). A técnica de automontagem camada-por-camada, (do inglês, layer-by-layer) (LBL) recentemente tem sido empregada na fabricação de células solares, essa técnica é um processo simples e barato para a construção de multicamadas ultrafinas com base na adsorção de diferentes camadas de polieletrólitos com cargas opostas sobre um material que serve como suporte. O método LBL não requer equipamentos caros ou materiais elaborados, é um processo mais limpo do ponto de vista ambiental podendo ser realizado em bancada, os materiais são preparados em soluções aquosas usando reagentes menos perigosos em comparação ao método de funcionalização covalente. Esse método tem sido aplicado com sucesso para revestimento de nanomateriais inorgânicos e de carbono com películas finas de polieletrólitos permitindo a montagem de heteroestruturas altamente organizadas (Grzelczak, *et al.*, 2006, p. 415–420).

O primeiro passo para formação do nanocompósito foi dispersar os NTCs que possuem uma tendência a agregarem-se em feixes (“bundles”) conforme a imagem de microscopia eletrônica de transmissão, Figura 2a, o que torna mais difícil sua suspensão em água ou solventes orgânicos. O método usado para dispersar os NTCs neste trabalho foi técnica de automontagem camada-por-camada usando o PSS, uma vez que

esse polieletrólito aniônico pode revestir a superfície dos NTCs dispersando-os em água. Além disso, o PSS tem a capacidade de interagir com polímeros catiônicos tais como PDDA e PAH permitindo a construção de nanoestruturas multicomponentes. Os NTCs revestidos com o PSS possuem carga negativa e podem interagir por meio de interação eletrostática com o polieletrólito catiônico PDDA, formando um nanocompósito de NTCs revestido com PSS/PDDA com carga de superfície positiva. As estruturas dos monômeros dos polieletrólitos utilizados neste trabalho estão apresentadas na Figura 2b. Na Figura 2c são apresentadas as imagens das suspensões de NTCs puros e funcionalizados com os polieletrólitos PSS e PSS/PDDA. Os NTCs sem tratamento (Figura 2c.a) sedimentaram em aproximadamente 10 min após sonicação. Os NTCsPSS (Figura 2c.b) e NTCsPSS/PDDA (Figura 2c.c) permaneceram em suspensão (bem disperso) durante vários meses, sem nenhuma alteração do seu estado de dispersão. Na imagem fica evidente a estabilidade da dispersão dos NTCs revestidos com polieletrólitos em água. Nas imagens de HRTEM dos NTCsPSS/PDDA apresentadas na Figura 2d fica evidente a camada ultrafina de polieletrólitos e a ausência de defeitos na superfície dos NTCs.

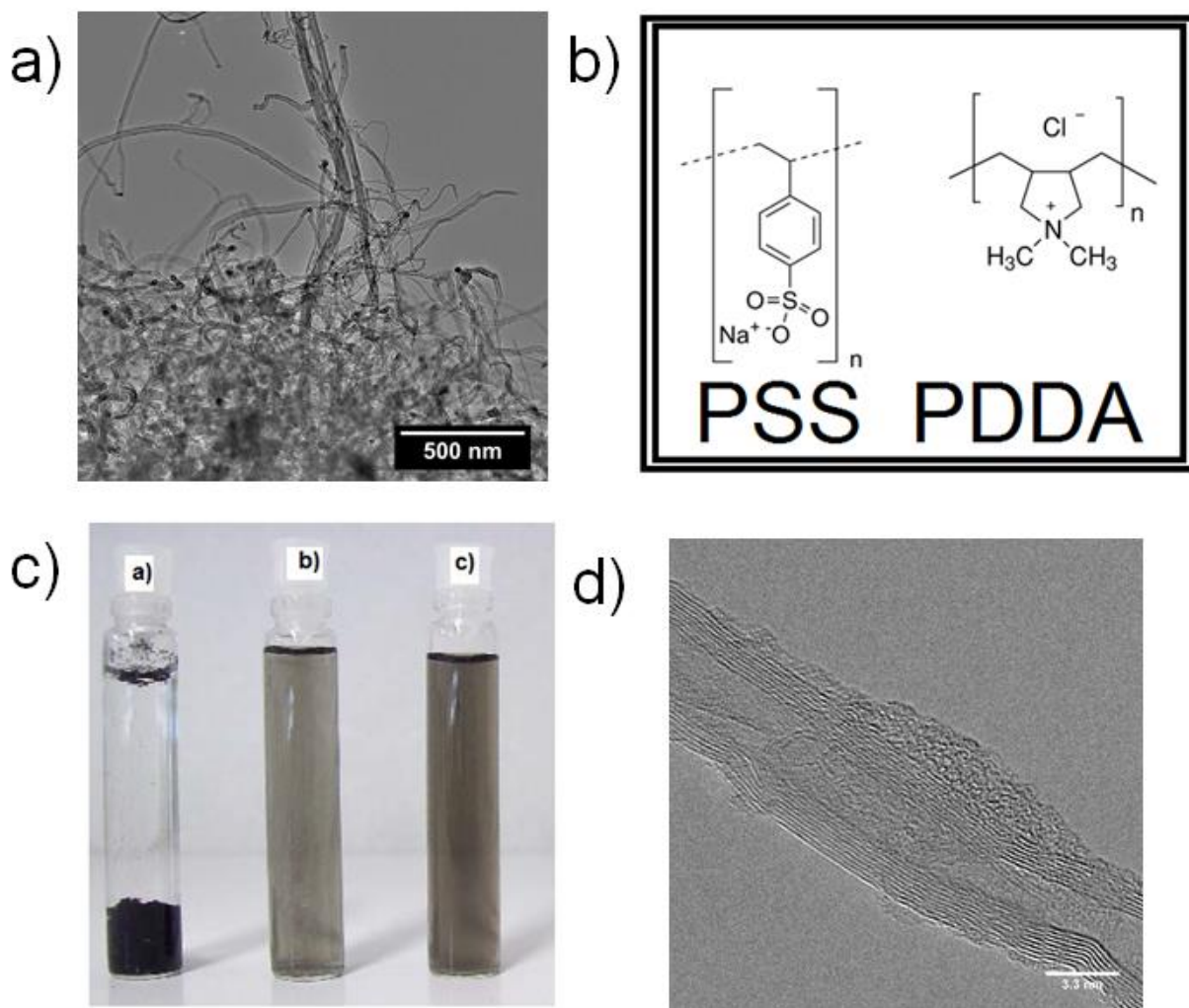


Figura 2: a) Imagem de microscopia eletrônica de transmissão de NTCs agregados em feixes, b) estruturas moleculares dos monômeros poli(4-estireno sulfonato de sódio) (PSS) e poli(cloreto de dialildimetilamônio) (PDDA), c) fotografias das dispersões em água de: **a)** NTCs, **b)** NTCs recobertos com PSS e **c)** NTCs recobertos com PSS e PDDA e d) imagem de microscopia eletrônica de transmissão de NTCs recobertos com PSS e PDDA.

A ilustração esquemática apresentada na Figura 3a apresenta o revestimento usando os polieletrólitos PSS e PDDA, e a incorporação das nanopartículas de CdTe na superfície dos nanotubos de carbono. Esse controle da modificação de superfície permite a montagem de nanocompósitos envolvendo nanopartículas por meio de interações eletrostáticas. No caso específico, a superfície positiva do sistema

NTCPSS/PDDA pode interagir com nanopartículas de CdTeMPA, visto que essas NPs apresentam carga superficial negativa, acima de pH neutro, devido à ionização do grupo carboxílico da molécula de MPA. O nanocompósito NTCs/CdTeMPA foram caracterizados por microscopia eletrônica de transmissão. A utilização desta técnica nestes materiais é de fundamental importância uma vez que os PQs podem estar apenas misturados aos NTCs e não estar ligados à sua superfície. A Figura 3b apresenta as imagens de HRTEM dos NTCs/CdTe em que é possível observar que os PQs (pontos escuros devido ao maior contraste de fase) estão sob a superfície dos NTCs e distribuídos uniformemente.

As propriedades físicas dos nanotubos de carbono foram demonstradas como sendo promissoras para aplicações em dispositivos optoeletrônicos incluindo dispositivos fotovoltaicos devido à sua natureza unidimensional propriedades eletrônicas. Os nanotubos foram usados em heterojunções em células solares para melhor geração e transporte de carga fotoexcitada (DILLON, *et al.*, 2010, p. 6856–6872). Esse tipo de nanocompósito é estudado para aplicações em dispositivos fotovoltaicos devido a transferência de elétrons dos pontos quânticos para os nanotubos de carbono. A heterojunção usando NTCs e nanoestruturas causam uma melhoria na eficiência de fotocorrente devido a separação e transporte de cargas em células solares, que são dois processos de limitação de eficiência.

PREPARAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS HETEROESTRUTURADOS ENVOLVENDO NANOTUBOS DE CARBONO E SÍLICA.

Nos últimos anos, novas estratégias para revestimento de nanopartículas inorgânicas e nanomateriais orgânicos com sílica, que diferem da metodologia clássica surgiram na vanguarda da ciência dos materiais. Materiais revestidos com sílica prometem uma oportunidade para o aprimoramento das propriedades coloidais e abrem a possibilidade de funcionalização usando outros materiais na superfície da estrutura caroço/casca possibilitando inúmeros tipos de aplicações tais como marcadores biológicos, distribuição controlada de drogas e dispositivos eletrônicos (Salgueiriño-Maceira, *et al.*, 2006, p.509–514).

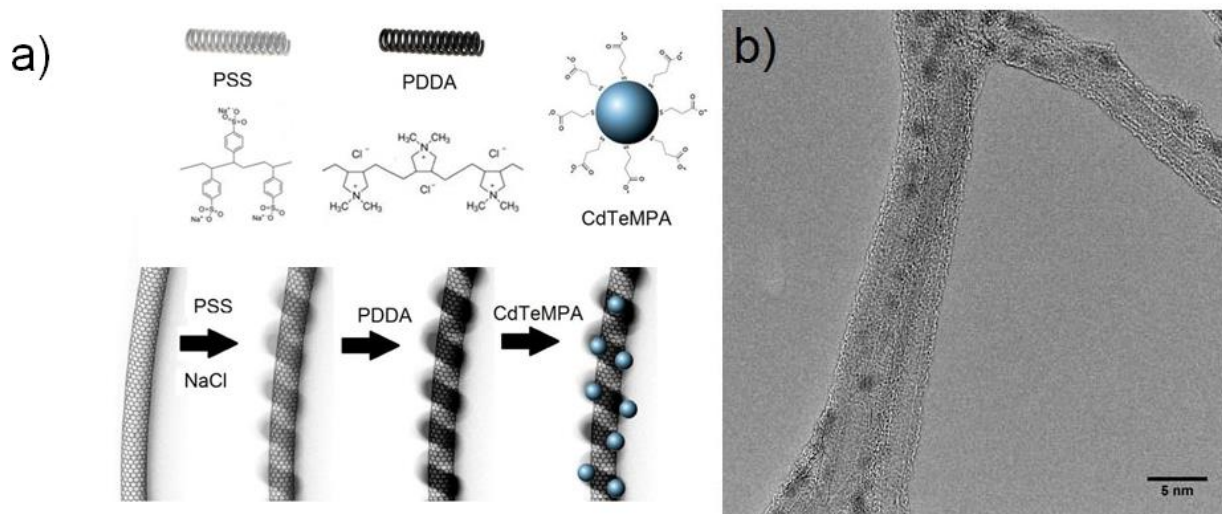


Figura 3: a) Esquema da rota de síntese do compósito NTCs/CdTeMPA b) Imagem de microscopia eletrônica de transmissão do nanocompósito NTCs/CdTeMPA (VIEIRA, K.O,2012).

Outro tipo de nanocompósitos que preparamos são nanotubos de carbono revestidos com uma camada nanométrica de sílica (NTCs/SiO₂). A combinação do método de auto montagem camada-por-camada em combinação com o método Sol-gel permitiram a síntese de NTCs revestidos com sílica. A síntese da camada de SiO₂ foi realizada usando os alcóxidos de silício tetraetilortossilicato (TEOS) e o 3-aminopropiltietoxisilano(APS) cujas estruturas estão apresentadas na Figura 4a. Para a preparação dos nanocompósitos envolvendo NTCs revestidos com sílica, inicialmente os NTCs foram dispersos em água usando um polieletrólito, para formação de uma dispersão estável em diferentes valores de pH. Em seguida foram revestidos com uma camada de sílica gerada por meio da hidrólise de TEOS e APS, esquema da Figura 4 b. Foram preparados com sucesso uma camada de sílica uniforme sobre superfície dos NTCs obtendo um material nanoestruturado a partir de NTCs e uma camada nanométrica de SiO₂ na superfície, conforme as imagens microscopia eletrônica de varredura e de transmissão da Figura 4c. Nestas imagens fica evidente o recobrimento dos NTCs com a camada de sílica. Os NTCs/SiO₂ apresentaram propriedades óticas

interessantes como emissão com alta intensidade na região do visível. O revestimento dos NTCs com uma camada de sílica foi um método simples e barato baseado na combinação da técnica de automontagem camada-por-camada e processo Sol-gel.

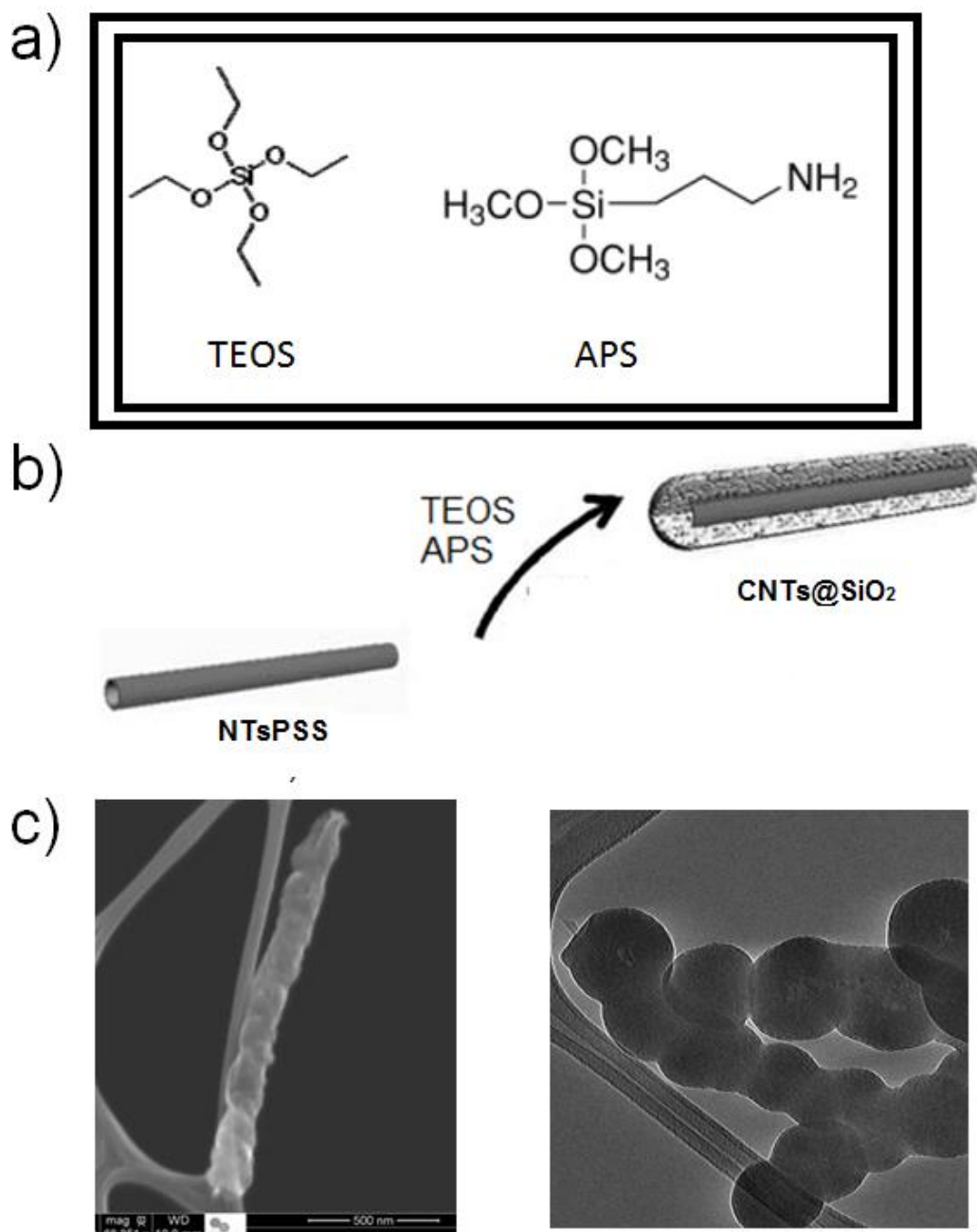


Figura 4: a) Estrutural molecular do tetraetilortossilicato (TEOS) aminopropiltriétoxissilano (APS), b) Esquema da rota de síntese do nanocompósito de nanotubos de carbono revestidos com sílica e c) Imagem de microscopia eletrônica de

varredura e de transmissão do nanocompósito de nanotubos de carbono revestidos com sílica.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, nanocompósitos de NTCs/CdTeMPA e NTCs/SiO₂ foram obtidos por meio da técnica de automontagem camada-por-camada e também por meio da combinação desta técnica com o processo Sol-gel. A funcionalização não-covalente usando a técnica de automontagem camada-por-camada baseada em interações eletrostáticas foi um método barato e simples para obtenção de NTCs solúveis e meio aquoso. O revestimento dos NTCs usando os polieletrólitos PSS, PAH e PDDA foi de fundamental importância para dispersar e desaglomerar os feixes de NTCs preservando a estrutura sp² do material. As camadas ultrafinas de polieletrólitos permitiram também um controle sobre a carga da superfície dos NTCs. A funcionalização dos NTCs para a formação de compósitos é de fundamental importância para qualidade final do material. A deposição dos PQs de CdTeMPA sobre a superfície dos NTCs ocorreu por meio de interações eletrostáticas de forma homogênea e com alto grau de cobertura sobre a superfície dos NTCs como evidenciado pelas imagens de TEM. Devido às propriedades ópticas e elétricas deste material ele apresenta um potencial para incorporação em dispositivos optoeletrônicos, eletrônicos e sensores eletroquímicos. Esses materiais se constituem em bons exemplos de formação de nanocompósitos que possuem potencial para aplicação em sistemas fotovoltaicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq, FINEP e FAPEMIG pelo apoio recebido e o LNNano pelo apoio nas medidas de Microscopia Eletrônicas de varredura e Transmissão.

Abstract: Solar cells offer an opportunity to diversify energy sources. However, it is necessary to improve its conversion efficiency and reduce the production cost for the development of a sustainable technology. Nanomaterials may contribute to the development necessary to achieve more efficient use of solar energy. The incorporation of nanocomposites is a strategy to improve the separation and charge transport in solar cells to improve energy conversion. In this paper we reported the synthesis and characterization of nanocomposites involving carbon nanotubes and quantum dots of CdTe, dispersed in water, and carbon nanotubes coated with a nanolayer of silica. These nanocomposites have properties that allow applications in photovoltaic devices.

Key-words: Nanomaterials. Nanocomposites. Quantum Dots. Solar cells.

REFERÊNCIAS:

BANERJEE, S, *et al.* Synthesis and characterization of carbon nanotube-nanocrystalheterostructures. **Nano Lett.**, v. 2, n. 3, p. 195-200, 2002.

CORREA-DUARTE, M. A, *et al.* Linear assemblies of sílica coated gold nanoparticles using carbon nanotubes as templates. **Adv. Mater.** v.16, n.23, p.2179–2184, 2004.

DAI L, *et al.* Carbon nanomaterials for advanced energy conversion and storage. **Small**, v.8, n.8, p.1130–1166, 2012.

DILLON, A. C, *et al.* Carbon Nanotubes for Photoconversion and Electrical Energy Storage. **Chem. Rev. Chemical Reviews**, v.110, n.11, p.6856–6872, 2010.

DONG, Y, *et al.* Polyamine-functionalized carbon quantum dots for chemical sensing. **Carbon**, v. 50, n.50, p. 2810–2815, 2012.

FERREIRA, H. S, *et al.* Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Quim. Nova**, v. 32, n. 7, p.1860-1870, 2009.

GRZELCZAK, M, *et al.* Photoluminescence quenching control in quantum dot–carbon nanotube composite colloids using a silica-shell spacer. **Adv. Mater.** v.18, n.18, p.415–420, 2006.

GUOAB, S, *et al.* Graphene nanosheet: synthesis, molecular engineering, thin film, hybrids, and energy and analytical applications. **Chem. Soc. Rev.** v.40, n.40, p. 2644–2672, 2011.

HU, L. *et al.* Multifunctional carbon dots with high quantum yield for imaging and gene delivery. **Carbon**, v.67, n.67, p.508–513, 2014.

IJIMA, S. Helical microtubules of graphitecarbono. **Nature**, v.347, n.7, p.56–58, 1991.

KAMAT, P. V, *et al.* Boosting the Efficiency of Quantum Dot Sensitized Solar Cells through Modulation of Interfacial Charge Transfer. **Accounts of chemical research**, v. 45, n. 11, p.1906–1915, 2012.

LI, Z, *et al.* Solution-processed bulk heterojunction solar cells based on interpenetrating Cds nanowires and carbon nanotubes. **Nano Res.** v.5, n.9, p. 595–604, 2012.

LIANG, Q, *et al.* Easy synthesis of highly fluorescent carbon quantum dots from gelatin and their luminescent properties and applications. **Carbon**, v.60, n.60, p.421–428, 2013.

MARTINS M. A, *et al.* Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. **Quim. Nova**, v.35, n.7, p. 1434-1446, 2012.

MIRTCHEV, P, *et al.* A. Solution phase synthesis of carbon quantum dots as sensitizers for nanocrystalline TiO₂ solar cells. **J. Mater.Chem.** v.22, n.22, p.1265–1269, 2012.

OLEK, M, *et al.* Quantum Dot Modified Multiwall Carbon Nanotubes. **J. Phys. Chem. B**, v. 110, n. 26, p. 12901-12904, 2006.

PENG J, *et al.* Graphene quantum dots derived from carbon fibers. **Nano Lett** Nano Res. 2012, 5(9): 595–604

PEET, J, *et al.* “Plastic” solar cells: self-assembly of bulk heterojunction nanomaterials by spontaneous phase separation. **Accounts of chemical research**, v.42, n.11, p. 1700-1708, 2009.

RATIER, B, *et al.* Organic solar cell materials and active layer designs – improvements with carbon nanotubes: a review. **PolymInt**, v.61, n.61, p. 342–354, 2012.

SALGUEIRIÑO-MACEIRA, V, *et al.* Composite silica spheres with magnetic and luminescent functionalities. **Adv. Funct. Mater.** v.16, n.16, p.509–514, 2006.

SILVA, F. O. *et al.* O estado da arte da síntese de semicondutores nanocristalinos coloidais. **Quim. Nova**, v. 33, n. 9, p.1933-1939, 2010

SILVA, F.O, *et al.* Effect of surface ligands on the optical properties of aqueous soluble CdTe quantum dots. **Nanoscale Research Letters**, v. 7, n. 7, p.536-546, 2012.

VIEIRA, K.O, Preparação e caracterização de nanocompósitos coloidais envolvendo nanotubos de carbono e pontos quânticos de cdte. 2012.73f. Dissertação de Mestrado, UFSJ, Minas Gerais, Brasil, 2012.

VILLAVLA, M. G. e GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica conceitos e aplicações. São Paulo, SP: Ed. Érica 2012. p.35.

XU X, *et al.* Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. **J. AM. CHEM. SOC.** v.126, n.126, p.12736-12737, 2004.

YAN, J, *et al.* Polymer brushes assisted loading of high density CdS/CdSe quantum dots onto TiO₂ nanotubes and the resulting photoelectric performance. **RSC Adv**, v. 2, n. 2, p. 3978–3985, 2012.

YUNE, J. H, *et al.* A study of TiO₂ binder-free paste prepared for low temperature dye-sensitized solar cells. **J. Mater. Res**, v. 28, n. 3, p.488–496, 2013.

ZARBIN, A. J. G, *et al.* Química de (nano)materiais. **Quim. Nova**, v.30, n.6, p.1469-1479, 2007.

Zhang Y.Q, *et al.* N-doped carbonquantumdotsforTiO₂-based photocatalysts and dye sensitized solar cells. **Nano Energy**, v. 2, n. 2, p.545–552, 2013.

ZHU, C, *et al.* Bifunctional fluorescent carbon nanodots: green synthesis via soy milk ad application as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction. **Chem. Commun**, v.48 n.48, p. 9367–9369, 2012.

Texto científico recebido em: 10/09/2014

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 31/10/2014

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*

(Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,

em diversas áreas do conhecimento.