

Avaliação de Rotas Sintéticas de Pontos Quânticos de CdTe em um Contexto de Mentoria Inclusiva em Engenharia Química

D. C. Castro, R. L. Almeida, J. C. Luz, N. S. Fidelis, E. Raphael

Escola Superior de Tecnologia, EST/UEA, Laboratório ILUM (eraphael@uea.edu.br)

Buscando nanocristais de alta qualidade, este trabalho avalia alterações em rotas sintéticas de pontos quânticos (PQs) de CdTe. A rota por refluxo gerou PQs mais fluorescentes sob irradiação UV. As vias em béquer e hidrotermal geraram fraca fluorescência, e o método SILAR resultou em precipitado escuro por provável redução de telúrio. Para ampliar a base teórica além do estabelecido para CdTe, CdSe e CdS, um novo modelo preditivo vem sendo estudado para aplicações futuras.

Palavras-chave: Pontos Quânticos; Nanotecnologia; Síntese; Extensão.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia e a ciência dos nanomateriais representam pilares fundamentais no avanço de tecnologias de fronteira e dispositivos quânticos. A obtenção de estruturas em escala nanométrica ocorre predominantemente por duas abordagens principais: *top-down*, que consiste na fragmentação de materiais macroscópicos, e *bottom-up*, fundamentada na organização controlada de átomos ou moléculas para formar nanoestruturas a partir de reações químicas. Entre os nanomateriais produzidos por vias químicas, os pontos quânticos (PQs) semicondutores destacam-se devido ao efeito de confinamento quântico, fenômeno que ocorre quando o tamanho físico do nanocristal é menor ou comparável ao raio de Bohr do seu éxciton. Esse efeito confere aos PQs propriedades ópticas e eletrônicas sintonizáveis, onde a energia do bandgap e, conseqüentemente, os comprimentos de onda de absorção e emissão fluorescente tornam-se estritamente dependentes do diâmetro da partícula (Viol *et al.*, 2014).

Os pontos quânticos de telureto de cádmio (CdTe) têm recebido considerável atenção devido às suas eficientes propriedades de emissão na região do espectro visível. A síntese desses materiais pode ser conduzida tanto em meio orgânico, que tipicamente requer altas temperaturas e solventes complexos, quanto em meio aquoso (Ale *et al.*, 2016). A rota em meio aquoso apresenta-se como uma alternativa atraente por sua menor toxicidade, simplicidade operacional e viabilidade sustentável (Carvalho *et al.*, 2016). Nessa estratégia, a estabilização coloidal e o controle do crescimento cristalino dependem diretamente do uso de um ligante de superfície, como o ácido 3-mercaptopropiônico (MPA). O

ligante atua passivando os defeitos superficiais e impedindo a aglomeração macroscópica das partículas através de interações eletrostáticas e estéricas, otimizadas pelo controle rigoroso do pH do meio reacional. Modificações no meio dispersante e na atmosfera reacional também influenciam diretamente o rendimento quântico de fotoluminescência destas nanoestruturas (Da Rosa *et al.*, 2021).

A caracterização fundamental e o monitoramento do crescimento reacional desses nanocristais são comumente realizados via espectroscopia de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis) (Santos *et al.*, 2016). Esta técnica permite identificar o pico de absorção excitônico da amostra coloidal. A partir do comprimento de onda de máxima absorção (λ), é possível estimar com precisão o diâmetro experimental (D) de pontos quânticos de CdTe, CdSe ou CdS, utilizando a equação de ajuste empírico, demonstrado na equação (1), também conhecida por equação de Peng, desenvolvida por Yu *et al.* (2003):

$$D = (9,8127 \times 10^{-7})\lambda^3 - (1,7147 \times 10^{-3})\lambda^2 + (1,0064)\lambda - 194,84 \quad (1)$$

A viabilidade de ancoragem ou deposição desses arranjos de PQs sobre óxidos semicondutores nanoestruturados abre caminhos significativos para aplicações tecnológicas envolvendo a fabricação de eletrodos absorvedores de luz e dispositivos fotovoltaicos inovadores, como as células solares sensibilizadas por pontos quânticos (Vitoret *et al.*, 2016). Em tais sistemas, a interface entre o material absorvedor e o eletrodo de óxido (ex: FTO/TiO₂) dita a eficiência dos processos de transferência e

injeção eletrônica (Kamat, 2008), sendo o método SILAR (do inglês: *successive ionic layer adsorption and reaction*) uma das rotas mais adequadas, na qual o eletrodo é mergulhado sucessivamente em cada uma das soluções de precursores. No entanto, há deficiência em literatura da aplicação desta metodologia para PQs de CdTe, incentivando a pesquisa de condições que a viabilizem (Haydous, Halaoui, 2014).

O desenvolvimento prático desta pesquisa ocorreu no âmbito da extensão universitária, integrando as ações do programa "Menos 1 plástico: Unindo as Engenharias, Tecnologias e Química para divulgação, inclusão e sustentabilidade" em articulação com a Escola Humanizada de Aplicação da UEA. Essa iniciativa conjunta viabilizou o acolhimento inclusivo de um estudante adolescente com altas habilidades e superdotação (AHSD) no laboratório de pesquisa ILUM da Escola Superior de Tecnologia (EST/UEA). A inserção do aluno em atividades de síntese e manipulação em nanotecnologia quântica promoveu o protagonismo juvenil e o desenvolvimento de competências científicas avançadas alinhadas aos seus interesses em física quântica.

Em termos experimentais, a busca por novas rotas e variações metodológicas de síntese é de suma importância para avaliar a facilidade operacional dos processos, bem como para otimizar ou mitigar fatores que influenciam na qualidade estrutural e nas propriedades ópticas finais dos materiais coloidais. Frente a esse cenário, sabe-se que a síntese convencional por refluxo em meio aquoso de pontos quânticos de CdTe deriva de uma proposta inovadora desenvolvida por Wang e Liu (2012), a qual simplificou o processo ao dispensar o controle rigoroso de atmosfera. Contudo, essa rota ainda carece de estudos sistemáticos que avaliem novas possibilidades para aprimorar a qualidade estrutural e óptica dos nanocristais obtidos. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar alterações sistemáticas nessa rota de síntese de PQs de (CdTe) estabelecida como convencional (refluxo aquoso), comparando-a a metodologias alternativas (béquer, SILAR e hidrotermal), utilizando como critérios de caracterização a análise visual de fluorescência sob irradiação de luz ultravioleta (UV) e o monitoramento quantitativo por espectroscopia de absorção no UV-Vis.

Paralelamente, como desdobramento teórico deste estudo e fruto das discussões no âmbito do projeto, o estudante (AHSD) desenvolveu um diagrama preditivo fundamentado em um modelo conceitual próprio, apresentando no evento Crianças vs. Aquecimento Global (ESCOLA HUMANIZADA UEA; NORTE DA FÍSICA, 2025) o qual

denominou de Teorema Ñ. Essa ferramenta visa otimizar a aplicação instrumental utilizada na caracterização, como por exemplo a técnica de espectroscopia UV-vis, levando em consideração qualquer tipo de interferência do meio, além de suporte para futuras propostas de síntese, levando em consideração interferentes e previsibilidade com possível melhoria de qualidade do material resultante.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais e Reagentes

Os pontos quânticos (PQs) de telureto de cádmio (CdTe) foram sintetizados utilizando como precursores cloreto de cádmio (CdCl_2) e telurito de sódio (Na_2TeO_3). Como agente de passivação superficial e ligante coloidal, empregou-se o ácido 3-mercaptopropiônico (MPA). A reação de redução do precursor de telúrio foi promovida pelo agente borohidreto de sódio (NaBH_4). O ajuste do pH reacional foi realizado com solução diluída de hidróxido de sódio (NaOH). Todos os reagentes químicos foram de grau analítico e utilizados sem purificação prévia, empregando-se água deionizada como solvente em todas as etapas.

Procedimento Experimental

A metodologia denominada convencional baseou-se na adaptação de protocolos de síntese em meio aquoso sob refluxo. Inicialmente, o precursor de cádmio foi solubilizado em água deionizada em um balão de reação de três bocas, seguido da adição do ligante estabilizante (MPA). O pH do sistema foi ajustado rigorosamente para 10,0 por meio da adição de solução de (NaOH), visando a desprotonação dos grupos carboxílicos do ligante e a efetiva complexação dos íons (Cd^{2+}). Na sequência, adicionaram-se o precursor (Na_2TeO_3) e o agente redutor (NaBH_4), mantendo-se proporções estequiométricas fixas. O sistema foi submetido à agitação magnética constante e aquecimento acoplado a um banho-maria sob refluxo. Para o acompanhamento temporal da evolução cinética do crescimento dos nanocristais, retiraram-se alíquotas do meio reacional a cada 30 minutos de reação.

Procedimentos Experimentais: Rotas Alternativas e Modificações

Para avaliar o impacto das condições operacionais nas propriedades ópticas dos materiais, foram propostas três variações metodológicas alternativas mantendo-se a mesma relação de estequiometria de reagentes da rota convencional:

Rota em Béquer: A reação foi conduzida em um béquer protegido apenas por um vidro de relógio na superfície, utilizando aquecimento e agitação

magnética, promovidos diretamente por um agitador magnético com aquecimento.

Tentativa de Deposição via SILAR Adaptado: Objetivando a deposição direta do semicondutor CdTe sobre substratos condutores transparentes de vidro/FTO/(TiO₂), os precursores foram separados em dois balões reacionais distintos, em meio aquoso sob refluxo, sendo o agente redutor, borohidreto de sódio, presente em ambos os balões. Contudo, observou-se visualmente a formação imediata de um precipitado escuro no balão contendo o telurito de sódio, indicando a redução precoce e indesejada do telúrio ao seu estado metálico (Te⁰).

Rota Hidrotermal: O meio reacional contendo a mistura completa dos precursores foi transferido para um reator hidrotermal, constituído de um vaso de Teflon inserido em um sistema de aço inoxidável com tampa ajustada e vedada com sistema de parafusos, permitindo aquecimento sob pressão a 180°C, com auxílio de um poço de aquecimento com controle de temperatura. O tempo de reação no sistema hidrotermal foi fixado estritamente em 30 minutos., quando então foi resfriado e o sistema aberto.

Caracterização

As propriedades ópticas decorrentes do efeito de confinamento quântico foram preliminarmente avaliadas por um método qualitativo visual, submetendo os colóides obtidos (alíquotas e produtos finais) à irradiação de luz ultravioleta (UV) em câmara escura para a observação e comparação do perfil de emissão fluorescente. Complementarmente, a determinação quantitativa dos perfis ópticos e a estimativa do diâmetro dos nanocristais foram viabilizadas por análises de espectroscopia de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis). Vale lembrar também que nas intercessões das etapas dos procedimentos, é avaliado os resultados para a preparação dos próximos, com base nos critérios parciais comprovados do Teorema-Ñ e observações dos PQs para contribuir em sistemas posteriores para a finalidade de uma melhor síntese. Assim, o prosseguimento de observações pode demonstrar uma caracterização dada em PQs trabalhados de forma mais eficaz.

Modelagem Teórica e Abordagem Preditiva Complementar (Teorema-Ñ)

Como ferramenta de suporte à interpretação dos resultados e otimização das sínteses coloidais, propõe-se a aplicação, em caráter exploratório, de um modelo matemático preditivo, ainda em

desenvolvimento, denominado Teorema-Ñ, apresentado na equação (2). O formalismo matemático fundamenta-se nas seguintes relações fundamentais:

$$i = \left(1 + \frac{\pi}{10} + \frac{e}{100} + \dots + \frac{S_o}{10^o} \right) A_d \quad (2)$$

$$f(\phi) = (\phi \cdot S_\phi)'$$

Onde, i = número complexo (imaginário); $\pi = 3,14159265359$; $e = 2,71828182845...$, S_o é o valor em sua respectiva ordem de razão, 10^o se deve por 10 elevado ao número da ordem qual enumera a razão, A_d é um arranjo dimensional, caracterizado por indicativo de variação do valor de i conforme o ambiente físico, $f(\phi)$ é a função que caracteriza o padrão da instância de referência onde ϕ é o padrão da instância de referência em que os parâmetros são ilimitados em implicação da finalidade do sistema, S_ϕ é a escala do padrão de instância de referência e ' é uma nota para complementar a equação fazendo da resolução parte de uma combinação alternativa de formulação do sistema.

O modelo busca correlacionar variáveis de contorno do ambiente reacional e padrões geométricos de simetria com a estabilidade termodinâmica dos nanocristais. A formulação matemática está em andamento, buscando-se aplicações futuras, sendo que o Teorema tem bases teóricas na análise do espaço de Hilbert (Godoy, 2005) no conjunto de Mandelbrot (Mandelbrot, 1967) e de geometrias além do universo euclidiano e das equações de Navier Stokes (Temam, 2024). Os critérios parciais do modelo serão empregados de forma iterativa tanto na interpretação de resultados de caracterização, quanto no planejamento de etapas experimentais, visando correlacionar o controle das variáveis ambientais com o incremento da eficiência de fluorescência e reprodutibilidade dos pontos quânticos sintetizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível observar, pelos resultados das sínteses: convencional (em refluxo) ou em béquer, uma variação gradual da coloração emitida pelas amostras ao longo do tempo de reação, indicativo da variação do tamanho dos nanocristais (aumento) devido aos efeitos do confinamento quântico, porém mais evidente para a rota convencional. O forte confinamento quântico, exibido pelos pontos quânticos, está relacionado diretamente com a energia do *bandgap*, que por sua vez está relacionada ao tamanho físico do nanocristal, sendo que o aumento das dimensões das nanopartículas, com o passar do tempo da síntese, consequentemente altera suas propriedades ópticas (Viol *et al.*, 2014).

A Figura 1 apresenta as alíquotas obtidas durante a síntese convencional dos pontos quânticos de CdTe, observadas sob iluminação ultravioleta (UV). À medida que os nanocristais crescem, ocorre a diminuição da energia do *bandgap*, resultando no deslocamento da emissão para maiores comprimentos de onda (*red shift*) e na mudança da coloração observada (Ekimov et al., 1993).



Figura 1. Fluorescência das alíquotas de CdTe sintetizadas pelo método convencional sob luz UV.

A análise visual foi complementada pela caracterização por espectroscopia de absorção no ultravioleta-visível (UV-Vis), cujos espectros

esperado para pontos quânticos semicondutores, pois o aumento do tamanho das partículas reduz a energia do *bandgap*, ocasionando o deslocamento da absorção para maiores comprimentos de onda (*red shift*). Esse resultado evidencia a evolução do processo de nucleação e crescimento dos nanocristais durante a síntese convencional, com estimativa de tamanho, de 2,5 nm com 30 minutos de síntese a 3,3 nm com 60 minutos (Yu et al., 2003).

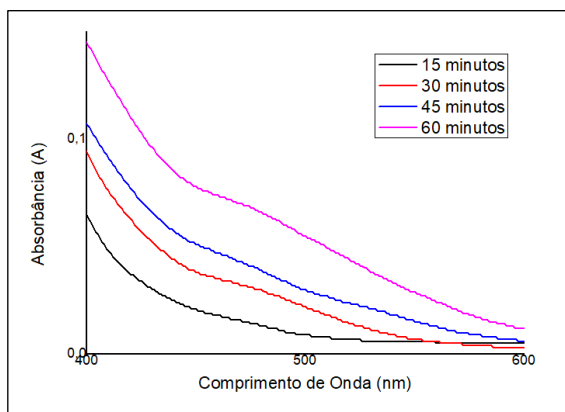


Figura 2. Espectros UV-Vis das alíquotas de CdTe sintetizadas pelo método convencional.

A Figura 3 apresenta o espectro de absorção UV-Vis da amostra de CdTe sintetizada pelo método hidrotermal a 150 °C durante 30 minutos. Observa-se maior absorbância na região do ultravioleta, seguida de uma diminuição gradual da intensidade com o aumento do comprimento de onda. O espectro não apresenta um pico excitônico bem definido, sendo observada apenas uma discreta inflexão na região de aproximadamente 340–350

nm. Esse comportamento pode estar relacionado à ampla distribuição de tamanhos das nanopartículas ou à baixa concentração de pontos quânticos formados durante a síntese, dificultando a definição da transição excitônica característica (Yu et al., 2003).

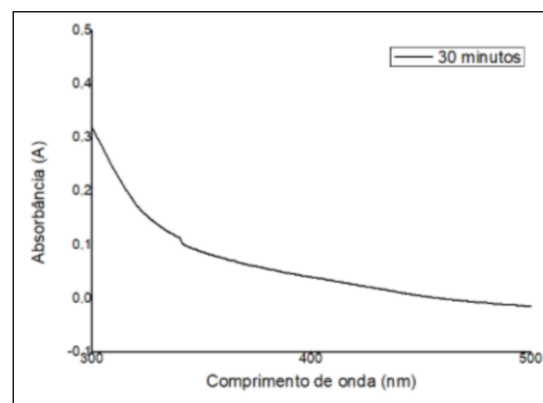


Figura 3. Espectro de absorção UV-Vis da amostra de CdTe sintetizada pelo método hidrotermal (150 °C, 30 min).

A Figura 4 apresenta a evolução da coloração das soluções de CdTe obtidas durante a síntese em béquer. Observa-se um escurecimento gradual da solução nos primeiros tempos de reação, indicando a formação e o crescimento dos nanocristais. A partir de aproximadamente 40 minutos, a coloração sofre poucas alterações visíveis, sugerindo que a reação se aproxima da estabilização.



Figura 4. Aspecto visual das soluções de CdTe obtidas por síntese em béquer.

Esse comportamento é confirmado pelos espectros de absorção UV-Vis na Figura 5, nos quais se observa aumento da absorbância e um leve deslocamento da banda de absorção para maiores comprimentos de onda nos tempos iniciais. Entretanto, após 40 minutos, os espectros tornam-se mais semelhantes, com pequena diferenciação apenas na intensidade da absorbância, indicando que o crescimento das nanopartículas estabilizou. Esses resultados sugerem que, após esse período, a síntese atinge um estágio próximo ao equilíbrio, no

qual a formação e o crescimento dos pontos quânticos de CdTe tornam-se mais lentos.

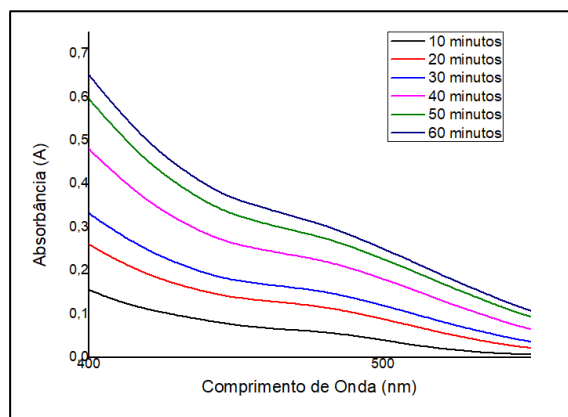


Figura 5. Espectros de absorção UV-Vis das amostras de CdTe sintetizadas em béquer.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que o método de síntese influencia diretamente as propriedades ópticas dos pontos quânticos de CdTe. A síntese convencional apresentou a evolução mais evidente dos nanocristais, com mudanças significativas na fluorescência e nos espectros de absorção UV-Vis, indicando crescimento mais eficiente das nanopartículas. O método hidrotermal possibilitou a formação de CdTe, porém sem a definição de um pico excitônico, sugerindo uma distribuição de tamanhos mais ampla ou menor uniformidade das partículas, não inviabilizando o método, mas sugere-se alterações nas condições para síntese futuras. Já a síntese realizada em béquer apresentou alterações na coloração e nos espectros de absorção, confirmando a formação de nanopartículas. Entretanto, a partir de aproximadamente 40 minutos, as mudanças tornaram-se menos expressivas, indicando uma tendência à estabilização do crescimento. Comparativamente, o método em béquer apresentou desempenho inferior ao método convencional nas condições experimentais avaliadas, evidenciando a necessidade de otimização dos parâmetros de síntese para obtenção de nanopartículas com propriedades ópticas mais bem definidas.

A tentativa de realização de deposição de PQs de CdTe sobre substrato de FTO/TiO₂, da forma como proposta neste trabalho, foi inviabilizada devido a possível redução do telurito de sódio a telúrio metálico, evidenciado pela formação de um precipitado escuro característico de telúrio. Novas sínteses por metodologia SILAR deverão ser testadas, variando-se as condições reacionais.

Como proposta de aplicação do modelo matemático em desenvolvimento, levou-se em conta uma

correlação aplicada anteriormente, em modelos atmosféricos/meteorológicos no evento Crianças vs. Aquecimento Global (ESCOLA HUMANIZADA UEA; NORTE DA FÍSICA, 2025). O monitoramento dessas condições do ambiente atmosférico, a partir das constantes fundamentais e funções de simetria do modelo ofereceu indicativos qualitativos que auxiliaram na interpretação da estabilidade e previsão do tempo com elevada precisão, o que indica que podem ser alterados para o ambiente reacional em uma possível predição óptica dos nanocristais. Esse mapeamento sistemático não apenas auxiliaria na interpretação dos resultados experimentais, mas também sinaliza uma rota teórica para prever as propriedades. Adicionalmente, poderá ser aplicado, assim como a equação empírica de Peng (Yu *et. al*, 2023) para o monitoramento do *bandgap* com possibilidade de ir além dos semicondutores tradicionais como CdS, CdTe e CdSe. Contudo, por se tratar de uma estrutura conceitual em andamento, a validação formal dessa modelagem e sua exata capacidade preditiva demandam investigações que ainda estão em andamento.

Desse modo, a abordagem estabelece uma perspectiva promissora para o futuro do projeto, visando consolidar uma ferramenta teórica capaz de guiar o planejamento, caracterização e otimizar novas sínteses de pontos quânticos.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram comparar o desempenho de diferentes metodologias para a síntese de pontos quânticos de CdTe. Entre os métodos avaliados, a síntese convencional apresentou melhor desempenho quanto às propriedades ópticas das nanopartículas. Embora os métodos hidrotermal e em béquer também tenham possibilitado a formação de CdTe, as condições empregadas neste trabalho não favoreceram a obtenção de nanopartículas com características ópticas tão bem definidas quanto as observadas no método convencional. Dessa forma, os resultados indicam que alterar as condições de síntese interfere diretamente na qualidade óptica dos NCs, que a otimização dos parâmetros de síntese, como tempo de reação e temperatura, pode contribuir para melhorar a qualidade das nanopartículas obtidas por essas metodologias alternativas, e o avanço do método teórico preditivo seria capaz de contribuir significativamente com esses resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório ILUM, Escola Superior de Tecnologia – EST;

Universidade do Estado do Amazonas – UEA; Pro-reitoria de extensão – PROEX/UEA; FINEP, no âmbito do Programa de Gestão dos Recursos Hídricos para Iniciativas Sustentáveis – PARHINTINS (Pró-Amazônia); Programa de Desenvolvimento da Extensão – PADEX/UEA; Programa de Extensão Menos 1 Plástico – EST/UEA e Programa de Extensão Escola Humanizada de Aplicação da UEA.

REFERÊNCIAS

ALE, B.; SILVA, F.; CARVALHO, M.; RAPHAEL, E.; FERRARI, J.; SCHIAVON, M. Water-Soluble CdTe/CdS Core/Shell Semiconductor Nanocrystals: How Their Optical Properties Depend on the Synthesis Methods. **Crystals**, v. 6, n. 10, p. 133, 2016.

CARVALHO, M.; MAYRINCK, C.; RAPHAEL, E.; BETTINI, J.; FERRARI, J.; SCHIAVON, M. The Role that Electrolytes Play in the Synthesis of Water-Soluble CdTe Quantum Dots Prepared at Ambient Temperature. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, n. 7, p. 1167-1176, 2016.

DA ROSA, L.; AVERSA, I.; RAPHAEL, E.; POLO, A.; DUARTE, A.; SCHIAVON, M.; VIRTUOSO, L. Improving Photoluminescence Quantum Yield of CdTe Quantum Dots Using a Binary Solvent (Water + Glycerin) in the One-Pot Approach Synthesis. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, p. 1-9, 2021.

DE S. VIOL, L. C.; RAPHAEL, E.; BETTINI, J.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A. A Simple Strategy to Prepare Colloidal Cu-Doped ZnSe(S) Green Emitter Nanocrystals in Aqueous Media. **Particle & Particle Systems Characterization**, v. 31, p. n/a-n/a, 2014

ESCOLA HUMANIZADA UEA; NORTE DA FÍSICA. É amanhã que nosso jovem cientista, Dante, estará no evento “Crianças vs. Aquecimento Global” [...]: palestra "A Física, a Meteorologia e o aquecimento global" [Post]. Manaus, 2 dez. 2025. Instagram: @escolahumanizada_ua. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DRikHWSEV-y/?igsh=ZjVoNjFvbDdybTll>. Acesso em: 3 jul. 2026.

EKIMOV, A. I.; EFROS, A. L.; ONUSHCHENKO, A. A. **Quantum size effect in semiconductor microcrystals**. Solid State Communications, 1985. DOI: 10.1016/S0038-1098(85)80025-9. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222931758_Quantum_Size_Effect_in_Semiconductor_Microcrystals.

GODOY, Ricardo de. **Espaço de Hilbert e quantificação de emaranhamento via entropia não extensiva**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/42df45a1-8dc3-40a5-befd-39da54e56fb2>. Acesso em: 3 jul. 2026.

HAYDOUS, F.; HALAOUI, L. **Quantum-Confined CdTe Films Deposited by SILAR and Their Photoelectrochemical Stability in the Presence of Se²⁻ as a Hole Scavenger**. *J. Phys. Chem. C* 2014, 118, 18334–18342

KAMAT, P. V. Quantum Dot Solar Cells. Semiconductor Nanocrystals as Light Harvesters. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 112, n. 47, p. 18737-18753, 2008. [1]

MANDELBROT, B. How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. **Science**, v. 156, n. 3775, 1967.

SANTOS, C. I. L.; CARVALHO, M. S.; RAPHAEL, E.; DANTAS, C.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A. Synthesis, Optical Characterization, and Size Distribution Determination by Curve Resolution Methods of Water-Soluble CdSe Quantum Dots. **Materials Research**, v. 19, n. 6, p. 1407-1416, 2016.

TEMAM, Roger. **Navier–Stokes Equations: Theory and Numerical Analysis**. Providence: American Mathematical Society, v. 343, 408 p. (AMS Chelsea Publishing), 2024.

VITORETI, A. B. F.; CORRÊA, L. B.; RAPHAEL, E.; PATROCÍNIO, A. O. T.; NOGUEIRA, A. F.; SCHIAVON, M. A. Células solares sensibilizadas por pontos quânticos. **Química Nova**, v. 40, n. 4, p. 436-446, 2016.

WANG, Y.; LIU, S. **One-pot synthesis of highly luminescent CdTe quantum dots using sodium tellurite as tellurium source in aqueous solution**. *Journal of the Chilean Chemical Society*, v. 57, n. 2, p. 1109-1112, 2012.

YU, W. W.; QU, L.; GUO, W.; PENG, X. Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals. **Chemistry of Materials**, v. 15, n. 14, p. 2854-2860, 2003.

