



## **ATIVIDADE COM PAIS NO COMPUTADOR “NANOAPC”: CONTRIBUTOS PARA A APRENDIZAGEM DA NANOTECNOLOGIA NO CONTEXTO DA DISCIPLINA DE QUÍMICA**

*Activity with Parents on the Computer “NanoAPC”: Contributions to the learning of Nanotechnology in the context of Chemistry subject*

**Natália Relvão da Silva** [natalia.r.silva@gmail.com]

*Escola Secundária José Falcão*

*Avenida Dom Afonso Henriques, 3004-002 Coimbra, Portugal*

*CIQUP, IMS, Unidade de Ensino das Ciências, Departamento de Química e Bioquímica*

*Faculdade de Ciências, Universidade do Porto*

*Rua do Campo Alegre s/n, 4169– 007 Porto, Portugal*

**João Carlos de Matos Paiva** [jpaiva@fc.up.pt]

**Carla Susana Lopes Morais** [cmorais@fc.up.pt]

*CIQUP, IMS, Unidade de Ensino das Ciências, Departamento de Química e Bioquímica*

*Faculdade de Ciências, Universidade do Porto*

*Rua do Campo Alegre s/n, 4169– 007 Porto, Portugal*

### **Resumo**

As Atividades com Pais no Computador são tarefas pedagógicas baseadas em conteúdos disciplinares socialmente relevantes com o objetivo de estabelecer a conexão escola-casa e a colaboração entre pais e alunos, para promover a literacia digital e a literacia de um domínio específico. Este artigo aborda um estudo que teve como objetivo investigar o contributo da Atividade com Pais no Computador “NanoAPC”, quer para o desenvolvimento de conhecimento dos alunos do 8.º ano sobre a área da nanotecnologia, quer para sensibilizar os pais/encarregados de educação para a referida área. As atividades foram propostas num ambiente formal de aprendizagem, a escola, mas foram realizadas em casa pelo aluno e por um dos pais ou o encarregado de educação. A NanoAPC pretendeu auxiliar os alunos a aprender conteúdos de Química contextualizados com os avanços e com as aplicações da nanotecnologia na sociedade, numa perspetiva sociocientífica. Um plano de investigação quasi-experimental foi implementado, tendo como participantes 58 alunos e 58 pais/encarregados. Os alunos foram divididos por duas condições experimentais que foram testadas: os grupos 1 e 2, sujeitos à NanoAPC, mas com uma intervenção inicial diferente e o grupo 3, sujeito a uma ficha de atividades. Todos os grupos foram sujeitos a um questionário como pré-teste e pós-teste, respetivamente antes e depois da intervenção. Os resultados, decorrentes na análise dos pré-teste e pós-teste e das respostas dadas nas respetivas fichas de atividades, mostram que os alunos dos grupos 1 e 2 evidenciaram uma melhoria significativa no conhecimento de nanotecnologia comparativamente aos do grupo 3. Concluímos que o recurso digital NanoAPC é útil para os professores que mostrem interesse em abordar a nanotecnologia, mas que tenham limitações de tempo devido à gestão do currículo. Além do mais, promove a triangulação pais – alunos – computador e, conseqüentemente, sensibiliza os pais para esta área.

**Palavras-Chave:** Ensino da Química; Nanotecnologia; Atividades com Pais no Computador; Nanoliteracia.

### **Abstract**

Activities with Parents on the Computer are pedagogical tasks based on socially relevant disciplinary content with the aim of establishing the school-home connection and collaboration between parents and students, to promote digital literacy and literacy in a specific domain. This article addresses a study that aimed to investigate the contribution of the Activity with Parents on the Computer “NanoAPC”, both for the development of knowledge of 8th grade students about the area of nanotechnology, and to raise awareness among parents/guardians for the said area. The activities were proposed in a formal learning environment, the school, but were carried out at home by the student and one of the parents or guardian. NanoAPC intended to help students to learn Chemistry contents contextualized with the advances and applications of nanotechnology in society, from a socio-scientific perspective. A quasi-experimental research plan was implemented, with 58 students and 58 parents/guardians participating. Students were divided into two experimental conditions that

were tested: groups 1 and 2, subject to NanoAPC, but with a different initial intervention, and group 3, subject to an activity sheet. All groups were subjected to a questionnaire as a pre-test and post-test, respectively before and after the intervention. The results, resulting from the analysis of the pre-test and post-test and the answers given in the respective activity sheets, show that the students in groups 1 and 2 showed a significant improvement in their knowledge of nanotechnology compared to those in group 3. We conclude that the NanoAPC digital resource is useful for teachers who show an interest in addressing nanotechnology but who have time constraints due to curriculum management. In addition, it promotes the parent-student-computer triangulation and, consequently, raises parents' awareness of this area.

**Keywords:** Chemistry Teaching; Nanotechnology; Activities with Parents on the Computer; Nanoliteracy.

## INTRODUÇÃO

Perante a diversidade do mundo, a mudança e a incerteza em termos tecnológicos, cada vez mais se impõe à escola e aos professores a criação de condições para formar cidadãos ativos (Martins *et al.*, 2017). O rápido crescimento da nanotecnologia (NT) e o seu impacto na sociedade e na economia requerem iniciativas na área da educação que consciencializem os alunos para a sua importância (Pampa-Quispe & Torres-Acurio, 2023; Roco, Hersam, & Mirkin, 2011). De facto, estudos realizados na União Europeia com a participação de Portugal, relativo à perceção das novas tecnologias, evidenciou que a maior parte dos cidadãos europeus parece ser mais otimista na contribuição da NT para a sociedade, apesar de haver uma generalizada falta de conhecimento sobre a referida área (Gaskell *et al.*, 2010; Joubert *et al.*, 2020; Palma-Oliveira *et al.*, 2009). A nanoliteracia está relacionada com a capacidade de os cidadãos compreenderem a NT com o intuito de fazerem escolhas bem informadas no seu papel de consumidores de nanoprodutos (Yawson, 2012).

Segundo o relatório apresentado em outubro de 2014, “Monitoring public opinion on Nanotechnology in Europe” através da “European Platform on Nano Outreach and Dialogue (NODE)” e do desenvolvimento do projeto “NANOPINION”, um dos objetivos da educação em NT é dar aos jovens conhecimentos básicos sobre esta área, por forma a dar-lhes oportunidade de expressarem a sua opinião e de exercerem o seu dever de cidadania participativa quanto ao uso dos produtos que contêm nanomateriais, procurando aproximá-los da ciência, inspirando-os em direção a oportunidades de emprego no campo da pesquisa científica e na área da indústria europeia, diminuindo lacunas de competências atuais em NT. Um desafio sugerido para o futuro é a dinamização de atividades de escola que tenham um impacto sobre professores, alunos e na comunidade em geral, incluindo os pais e familiares de estudantes (Debry, Marschalek, Hofer, & Handler, 2014).

Reportando-nos ao contexto português, na disciplina de Físico-Química do ensino básico a NT não é abordada de forma explícita (ME, 2018a) Contudo, para os alunos do curso de ciências e tecnologias do ensino secundário, na disciplina de Física e Química A do 10.º ano, verifica-se a introdução de conceitos de tamanho e de escala numa das aprendizagens essenciais do domínio 1 “Interpretar a escala atómica recorrendo a exemplos da microscopia de alta resolução e da nanotecnologia, comparando-a com outras estruturas da natureza.” (ME, 2018b). Assim, a sua introdução na matriz curricular no ensino básico e secundário apresenta um desafio para a maioria dos professores que completaram a sua formação inicial antes do advento da NT. Atividades que promovam o recurso às tecnologias de informação e comunicação, nomeadamente, o computador e a Internet poderão dar um contributo precioso para o desenvolvimento de atividades e estratégias que auxiliem os professores no ensino da NT (Sebastian & Gimenez, 2016).

As Atividade com Pais no Computador (APC) são tarefas pedagógicas baseadas em conteúdos disciplinares socialmente relevantes, desenvolvidas ou adotadas pelos professores, com o objetivo de estabelecer a conexão escola-casa e a colaboração entre pais e alunos, para promover a literacia digital e a literacia de um domínio específico (Paiva, Morais, & Moreira, 2017). Desta forma, neste estudo, desenvolveu-se a Atividade com Pais no Computador “NanoAPC”, de modo a envolver não apenas o aluno mas, também, um dos pais ou o encarregado de educação, nesta importante área emergente que é a NT, de modo a promover a nanoliteracia a um maior número de cidadãos e, ao mesmo tempo, não sobrecarregar o currículo.

Pelo exposto, definiu-se como problema de investigação que norteou este estudo, averiguar o contributo da Atividade com Pais no Computador “NanoAPC”, quer para o desenvolvimento de conhecimento dos alunos do 8.º ano sobre a área da nanotecnologia, quer para sensibilizar os pais/encarregados de educação para a referida área.

A próxima secção concentra-se na apresentação das três principais campos que serviram de fundamento teórico para a construção da “NanoAPC”: a educação em NT, o recurso “Atividades com Pais no Computador” e os pontos de convergência do currículo nacional de Físico-Química com a NT.

## **PERSPETIVA GERAL DA EDUCAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA**

Com o desenvolvimento da NT, diversos estudos internacionais na área da educação, nomeadamente por parte dos EUA, tiveram em conta as orientações da comunidade científica na introdução de temas da NT nos currículos de ciências, destacando-se os trabalhos de Roco (2011) e Stevens, Sutherland e Krajcik (2009), impulsionadores de investigações educacionais em NT. Nove grandes temas foram identificados como conceitos fundamentais para alunos do 7.º ao 12.º ano, a saber: (1) tamanho e escala, (2) estrutura da matéria, (3) forças e interações, (4) efeitos quânticos, (5) propriedades que dependem do tamanho, (6) automontagem, (7) ferramentas e instrumentação, (8) modelos e simulações e, por fim, (9) ciência, tecnologia e sociedade (Stevens *et al.*, 2009).

Nos EUA tem existido uma preocupação no desenvolvimento de ações que permitam o desenvolvimento de currículos e módulos educacionais na área das nanociências. Murday (2009) identificou quatro desafios educacionais: a criação de padrões de aprendizagem da NT, a necessidade de currículos e materiais didáticos, a necessidade de formação de professores em nanoeducação e o desenvolvimento da educação informal em museus e em centros de ciência.

Na França, Hingant e Albe (2010) refletiram sobre a introdução da NT no currículo do ensino secundário e investigaram as conceções dos alunos em conceitos relacionados com esta temática (por exemplo, tamanho e escala; a natureza da matéria; as propriedades da matéria que dependem da sua dimensão). Também investigaram alguns recursos táteis que melhoram a compreensão dos alunos de nanoconceitos e, ainda, o desenvolvimento profissional dos professores no ensino secundário na área da NT. Referiram que, na aprendizagem do tamanho e da escala, os estudantes apresentam dificuldades em apreender escalas extremas, em especial as pequenas escalas. A utilização de ferramentas táteis (microscópio de força atómica (AFM), acoplado a um ecrã tátil – “nanoManipulator”), simulações e modelos podem contribuir para um melhor entendimento destes conceitos, mas que o elevado preço destes recursos compromete a sua aquisição por parte das escolas. No entanto, segundo as autoras, o propósito de introduzir a nanoeducação nas escolas é formar cidadãos nanoliterados. Assim, outras estratégias e recursos podem ser desenvolvidos. Foi ainda enfatizada a falta de estudos na literatura que considerem a nanociência e a NT como uma questão sociocientífica, no ensino secundário. Deste modo, explorar as possibilidades de uma abordagem educacional através de aplicações práticas da ciência, tecnologia e sociedade permite uma discussão dos diversos argumentos suscitados pelo seu desenvolvimento. Defenderam, ainda, que a atualização dos professores nesta nova área é fundamental para o desenvolvimento da nanoliteracia. A nanoliteracia está relacionada com a capacidade dos cidadãos compreenderem a NT com o intuito de fazerem escolhas bem informadas no seu papel de consumidores de nanoprodutos. O compromisso de alcançar uma nação nanoliterada dependerá da ação conjunta da educação, da indústria, do público, do governo e das comunidades na formulação de políticas nesta área (LeBlanc, 2020, Marschalek & Hofer, 2017, Yawson, 2012).

Nos USA, Ghattas e Carver (2012) demonstraram preocupações éticas referindo que alguns materiais obtidos a partir da nanotecnologia são utilizados no quotidiano para diversos fins, sem o conhecimento dos consumidores. No seu artigo, explicitaram a necessidade de integrar conceitos relacionados com a NT que sejam relevantes e significativos para os alunos como resposta ao desenvolvimento nanocientífico, de modo a despertar a curiosidade dos alunos em aprender ciência por motivação intrínseca. Sendo a NT um campo multidisciplinar de estudo, compilaram um conjunto de atividades interdisciplinares em cursos de NT, inseridas nos currículos ou fazendo parte de atividades informais, que podem ser adaptadas a diferentes disciplinas. Também defendem a integração da NT na escola para o aumento do nível de literacia científica da próxima geração, tendo em conta que os alunos serão o público mais afetado pelo ritmo descontrolado do desenvolvimento da NT, mas também serão eles a tomar decisões responsáveis nesta área. Desta maneira, defendem que é fundamental que esta população seja familiarizada com conceitos de NT, os produtos que produzem, os seus benefícios e os riscos associados. Porém, as barreiras para a inclusão da NT são reais e percebidas e são consistentes com outras barreiras relatadas para a inclusão de outros temas novos de ciência nos currículos, tais como: o tempo, a sobrecarga cognitiva e curricular e a inclusão na avaliação (Ghattas & Carver, 2012, Hingant & Albe, 2010).

Num trabalho conjunto, investigadores dos EUA e europeus (Jones *et al.*, 2013) fizeram um levantamento da educação em nanotecnologia onde incluíram currículos, programas educacionais, educação informal e formação de professores. Ainda descreveram os avanços em nanociência e NT, abordando aplicações que podem melhorar a qualidade de vida das populações, nomeadamente na área das aplicações biomédicas (nos sistemas de transporte de drogas no tratamento do cancro, na engenharia de tecidos e potenciais órgãos artificiais biocompatíveis e nos sensores de diagnóstico) e na produção de materiais avançados muito resistentes e muito leves e de materiais “inteligentes” que alteram as suas propriedades dependendo das condições ambientais, defendendo que ensinar os alunos sobre esses avanços tem o potencial de capturar a sua imaginação e estimulá-los para futuras carreiras na ciência.

Num estudo realizado em Israel, Sakhnini e Blonder (2016) reforçam a importância de reconhecer as aplicações essenciais de NT a serem ensinadas nas escolas através da contextualização das suas aplicações. Através de um estudo que usou o método Delphi aplicado a duas comunidades de especialistas, professores de ciências e investigadores de nanociências, identificaram cinco áreas de aplicações da NT consideradas mais importantes no ensino: nanomedicina, nanoeletrónica, células fotoelétricas, nanorobots e autolimpeza. Emergiram, também, através de um estudo Delphi realizado em 2015, pelas mesmas autoras, sete conceitos essenciais da NT: (1) propriedades dependentes do tamanho, (2) inovação e aplicação da nanotecnologia, (3) tamanho e escala, (4) os métodos de caracterização, (5) a funcionalidade, (6) classificação dos nanomateriais e (7) abordagens no fabrico de nanomateriais, nos quais alguns apresentam subcategorias de conceitos (Sakhnini & Blonder, 2015).

O tamanho e a escala e a relação entre a superfície e o volume foram dois conceitos estudados no ensino secundário recorrendo a uma diversidade de métodos de ensino, por exemplo, a aprendizagem através do jogo, com multimédia (filmes, simulações e animações), através de modelos, fazendo uso da aprendizagem baseada em projetos e através de narrativas. Os resultados do estudo evidenciaram que uma variedade de métodos de ensino permitiu ajudar os alunos na compreensão dos conceitos básicos de NT e estimulou o seu interesse por esta área (Blonder & Sakhnini, 2012). Mas, para tal, os professores devem estar dispostos a diversificar os seus métodos de ensino. No entanto, devido a limitações de tempo e de gestão de sala de aula, os professores podem não conseguir uma implementação eficaz de uma variedade de métodos de ensino (Eilks, Markic, & Witteck, 2010; Blonder & Mamlok-Naaman, 2016).

Ainda em contexto escolar, na Turquia, num estudo que envolvia alunos do ensino básico (6.º, 7.º e 8.º anos), Sahin e Ekli (2013) investigaram a consciência, as opiniões e as perceções de risco relativas à NT em 23 escolas de meio urbano, sendo, segundo os autores, a primeira tentativa de analisar as reações dos alunos do ensino básico à NT. Aplicaram um questionário construído a partir de instrumentos validados e revisto por especialistas de diferentes áreas. Em contraste com as atitudes dos adultos face às NT, o estudo revelou que 74% dos alunos tinham alguma consciência da NT, embora este tema não tenha sido introduzido nas metas de aprendizagem a este nível. A televisão e a Internet foram as fontes de informação apontadas para a tomada de consciência dos alunos.

Lin e Lin (2016) investigaram o impacto na aprendizagem da NT e as perceções emocionais em estudantes do 10.º ano com diferentes níveis de aprendizagem dispondo de livros com texto narrativo e de livros de banda desenhada. Através de um método de investigação misto, concluíram que, embora a maioria dos estudantes preferisse a banda desenhada como meio de aprendizagem da NT em contextos informais do que os livros científicos narrativos, os livros de banda desenhada não se revelaram mais eficazes. Mesmo para os estudantes com fracos resultados académicos, as diferenças não foram significativas. A dificuldade de compreensão, o interesse/desinteresse, as perceções emocionais para a aprendizagem da ciência e o tempo de aprendizagem foram argumentos apresentados pelos autores para justificar esta última situação. Contudo, referiram que o livro de banda desenhada pode ser implementado como material de leitura suplementar, permitindo ajudar os alunos a construir conhecimentos fundamentais em NT. Propuseram ser um recurso, particularmente útil, para os professores que têm um programa extenso para cumprir, mas que mostram interesse em integrar a NT nas suas práticas letivas.

Em Espanha, Sebastian e Gimerez (2016) produziram uma ampla variedade de documentários de vanguarda intitulados “Cápsulas de Nanotecnología” que auxiliam os estudantes do ensino secundário e universitário a aprender os conceitos subjacentes de nanociência, a conhecerem os últimos avanços e as perspetivas futuras da NT. Ademais, esses documentários visam trazer e divulgar a atividade científica da NT para a sociedade. Na sua investigação, concluíram que os documentários baseados em nanoescala permitiram uma compreensão rápida e eficiente de conceitos complexos relacionados com NT, sendo os documentários do YouTube um excelente canal para disseminar a nanociência na sociedade.

Em termos informais, Park (2019) divulgou um curso de nanotecnologia para alunos que frequentam cursos não científicos e, por isso, sem conhecimentos prévios de química, com o objetivo de os auxiliar a interpretar criticamente os avanços no campo da NT nos mídia e em fontes de notícias. O curso foi desenhado por forma a apresentar os conceitos de química através da lente das aplicações da NT, incluindo a eletrónica, a medicina, os desportos e o meio ambiente. O curso aumentou a motivação dos alunos para aprender e guiou-os na compreensão conceitual da química.

Na Grécia, Mandrikas, Michailidi e Stavrou (2020) investigaram como os alunos do 6.º ano do ensino primário abordam os conceitos básicos de NT e até que ponto podem refletir sobre questões de pesquisa e inovação responsável (do inglês *responsible research and innovation* (RRI)). Descreveram o design e a implementação de uma sequência de ensino-aprendizagem focada no tamanho e na escala e na mudança de propriedades em nanoescala com base em materiais hidrofóbicos e hidrofílicos, enquanto as questões de RRI foram discutidas por meio de artigos de jornal e interação dos alunos com nanocientistas. Os dados foram recolhidos por meio de fichas de registo e por entrevistas aos alunos. Os resultados mostraram que os alunos entenderam os principais conceitos de NT, como 'tamanho e escala' e 'propriedades dependentes do tamanho'. Em relação às dimensões do RRI, a NT pareceu ser um contexto útil para melhorar as discussões na ética, no envolvimento e na educação científica. Concluíram que vale a pena ensinar NT mesmo na educação primária. Além disso, o NT fornece um contexto apropriado para a introdução de RRI na educação científica.

Apesar da maioria dos estudos apresentados envolver alunos do ensino secundário, também começa a surgir o interesse em sensibilizar as crianças que frequentam a escola primária para conceitos fundamentais da NT (Dorouka, Papadakis & Kalogiannakis, 2021). Para isso esses investigadores forneceram, com apoio na literatura, uma ampla base para compreender o atual conhecimento da aprendizagem utilizando dispositivos móveis e destacaram a importância de novas pesquisas que contemplem o potencial de aprendizagem que esses dispositivos podem ter na nanoalfabetização de crianças.

Em termos informais, nos Estados Unidos e em vários países na União Europeia, há uma forte divulgação da NT ao público, através de portais como: NNI, National Nanotechnology Initiative ([www.nano.gov](http://www.nano.gov)); NISE, National Informal STEM Education ([www.nisenet.org](http://www.nisenet.org)); NanoWerk ([www.nanowerk.com](http://www.nanowerk.com)) para os que se mostrem interessados nesta área. Contudo, nestes endereços, os materiais disponibilizados estão em língua inglesa, não sendo compreendidos pela maioria dos cidadãos leigos que queiram saber mais sobre NT. Os recursos educativos nestas áreas em português são escassos.

## **O Currículo Nacional, a Nanotecnologia e a Química**

O sistema de ensino português está dividido em educação pré-escolar (desde os 3 anos de idade até à entrada no ensino básico), ensino básico (dos 6 aos 15 anos de idade), ensino secundário (dos 15 aos 18 anos de idade) e ensino superior (a partir dos 18 anos de idade). O ensino básico contém três ciclos de ensino: o 1.º ciclo (do 1.º ano ao 4.º ano), o 2.º ciclo (do 5.º ano ao 6.º ano) e o 3.º ciclo de ensino (do 7.º ano ao 9.º ano). O ensino secundário contempla os três últimos anos do ensino obrigatório (do 10.º ano ao 12.º ano) e permite a preparação dos alunos para o prosseguimento de estudos no ensino superior.

Atualmente, em Portugal, apesar de nos programas de Físico-Química do ensino básico não haver referência explícita da NT e às suas áreas de aplicação, a abordagem deste tema está condicionada à responsabilidade, sensibilidade e atualização do professor. Se bem que na introdução do documento do Perfil do Aluno à Saída da Escolaridade Obrigatória (Martins *et al.*, 2017) esteja referido: “*O mundo atual coloca desafios novos à educação. O conhecimento científico e tecnológico desenvolve-se a um ritmo de tal forma intenso que somos confrontados diariamente com um crescimento exponencial de informação a uma escala global.*” e, ainda, “*É neste contexto que a escola, enquanto ambiente propício à aprendizagem e ao desenvolvimento de competências, onde os alunos adquirem as múltiplas literacias que precisam de mobilizar, tem que se ir reconfigurando para responder às exigências destes tempos de imprevisibilidade e de mudanças aceleradas.*”

Pelo contrário, já no ensino secundário, no curso de Ciências e Tecnologias, na disciplina de Física e Química A do 10.º ano, nas Aprendizagens Essenciais que entraram em vigor no ano letivo 2021/2022, no domínio 1 - Elementos químicos e sua organização - há a referência explícita à NT: “Interpretar a escala atómica recorrendo a exemplos da microscopia de alta resolução e da nanotecnologia, comparando-a com outras estruturas da natureza.” (ME, 2018b). Deste modo, verifica-se uma preocupação na abordagem formal desta temática para os alunos do curso de ciências e tecnologias do ensino secundário, mas apenas no que respeita ao conceito de NT e de tamanho e escala. Contudo, a educação da NT em Portugal no ensino básico

e secundário, através da disciplina de Físico-Química, apresenta desafios para a maioria dos professores que completaram a sua formação inicial antes do advento da NT. Se por um lado para introduzirem a NT nas suas salas de aula, os professores têm de se sentir preparados, por outro, também necessitam de tempo para cumprir os programas e necessitam de possuírem recursos para o efeito. Por isso, aproveitar os conteúdos que são dados na disciplina de Química e cruzá-los com conceitos e/ou aplicações da NT pode constituir-se como uma boa opção para a introdução da NT na sala de aula, sem comprometer a leção do programa curricular previsto. Esta ideia é sustentada pelo artigo de revisão de Orgil e Wood (2014) onde as autoras analisaram práticas de educação em Química (atividades de sala de aula, atividades de laboratório e demonstrações) que também contribuem para a educação em nanociência e em NT.

Atividades que promovam o recurso às tecnologias de informação e comunicação, nomeadamente, o computador, os dispositivos móveis e a Internet poderão dar um contributo para o desenvolvimento de estratégias que auxiliem os professores no ensino da NT (Sebastian & Gimenez, 2016; Dorouka, Papadakis & Kalogiannakis, 2021). Desta forma, de seguida, iremos abordar as potencialidades gerais das APC como recurso educativo privilegiado neste estudo na área da NT.

### AS ATIVIDADES COM PAIS NO COMPUTADOR (APC) COMO RECURSO EDUCATIVO

As Atividades com Pais no Computador surgiram em Portugal, em 2010. São atividades que partem do professor e que envolvem os alunos, os pais/familiares e o computador (Paiva, 2010). O seu aparecimento coincidiu com o ponto alto da política pública conhecida como Plano Tecnológico da Educação, com a modernização do parque informático das escolas e com o incentivo à aquisição de computadores portáteis por parte dos estudantes do ensino não-superior, através dos programas e-escola e e-escolinha (Ponte & Simões, 2015).

As APC apresentam afinidades relativamente às TIPS (Teachers Involving Parents in Schoolwork) preconizadas por Joyce Epstein *et al.* (2001) e às WebQuests (Dodge, 1995), já que as APC necessitam de recursos da Internet, são propostas pelo professor para serem realizadas pelo aluno em casa, envolvem a participação dos pais e obedecem a uma estrutura bem definida.

Do ponto de vista teórico, as APC adequam-se ao modelo de natureza ecológica de Bronfenbrenner (1979) otimizado pela introdução do subsistema relacionado com tecnologia - Tecno-Subsistema (Johnson, 2010). As APC permitem enquadrar, compreender e gerir intencionalmente, através dos media digitais, as possibilidades de desenvolvimento e de aprendizagem presentes de modo manifesto ou latente nas relações entre a escola, os alunos e os pais. As APC são tarefas pedagógicas baseadas em conteúdos disciplinares socialmente relevantes, desenvolvidas ou adotadas pelos professores, com o objetivo de estabelecer a conexão escola-casa e a colaboração entre pais e alunos, para promover a literacia digital e a literacia de um domínio específico (Paiva *et al.*, 2017).

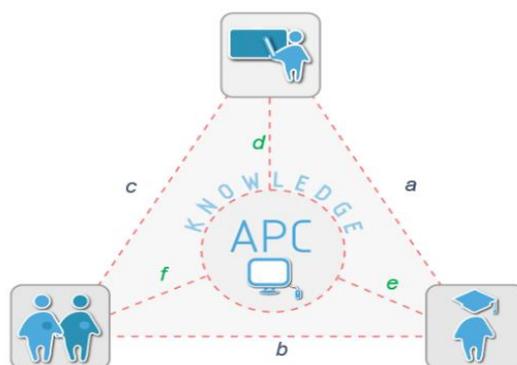


Figura 1 - Estrutura da APC (Paiva *et al.*, 2017)

Na Figura 1 os atores nos vértices do triângulo, professores, alunos e pais, estão representados por ícones. No vértice superior do triângulo encontra-se o professor, enquanto que os alunos e os pais se encontram nos vértices mais baixos. Algumas relações podem ser estabelecidas através deste esquema: o lado direito do triângulo (a) representa o contexto escolar que engloba a relação entre alunos-professor; o lado inferior (b) o contexto de casa e a relação aluno-pais; o lado esquerdo (c) as relações institucionais, isto é, a relação entre professor-pais. No centro do triângulo, a APC faz a ligação entre os intervenientes, abre uma ponte na comunicação e na transmissão do conhecimento escola-casa quando interceta o trabalho escolar e

os media digitais. Também as microrrelações (d, e, f) representadas pelos triângulos mais pequenos, podem intensificar, alterar ou perturbar atitudes e transformar os papéis tradicionais de cada interveniente (Paiva *et al.*, 2017).

Ainda segundo os autores, a APC é estruturada através de um roteiro com seis áreas, que obedecem à seguinte sequência: (i) convite à participação dos alunos e pais, (ii) contexto disciplinar, (iii) área de trabalho individual, (iv) área de trabalho colaborativo alunos/pais, (v) área de pesquisa e (vi) autoavaliação. Estas áreas contêm orientações das tarefas a realizar apenas pelo aluno e pela díade aluno/pais, com a ajuda do computador ou outro dispositivo com ligação à Internet. O roteiro pode ser fornecido em suporte de papel ou digital. Pretende garantir a abertura para pesquisas e reflexões em conjunto e inclui a avaliação da APC pelos intervenientes. A área de pesquisa (v) é constituída por questões de carácter mais aberto, em que se incentiva a pesquisa de informação na Internet de forma crítica e orientada, bem como a reflexão subjacente às questões sociocientíficas apresentadas.

No estudo de Paiva *et al.* (2017) foram identificadas as vantagens e as desvantagens de uma APC dirigida ao estudo de mudanças climáticas, no âmbito da Química. Os pais e os estudantes consideraram que este tipo de atividades promoveu a aprendizagem, a colaboração e ainda o conhecimento sobre si mesmo, do outro e da sua relação emocional. As desvantagens passaram pela falta de tempo, as limitações técnicas de acesso às ligações da Internet e os obstáculos cognitivos relacionados com o não saber a resposta. Esse estudo permitiu inferir que não são apenas os alunos que podem ser afetados por interações compartilhadas mediadas por tecnologia no seu desenvolvimento e rendimento escolar, como também os pais podem ganhar com este tipo de atividades que envolvem media digitais, visto que, em algumas situações, os estudantes assumiram o papel “mais conhecedor que outros” (*More Knowledgeable Other - MKO*) referido por Vygotsky (1978), levando para casa o conhecimento e uma oportunidade dos pais refletirem, promovendo-se, assim, possíveis mudanças sociais no quadro ecológico da APC. Contudo, também existem alguns cuidados na implementação deste tipo de atividades que envolvem a parentalidade, associados aos contextos sociais, económicos e culturais, que podem condicionar o desempenho dos alunos. Desta forma, recomenda-se que o professor permita que a atividade possa ser resolvida com a ajuda de outros elementos da família, no caso de tal ser necessário (Paiva & Reis, 2012). Por outro lado, existe alguma relutância na intenção de utilização da APC por parte dos professores em detrimento de outras estratégias de potenciação pedagógica que não envolvem pais (Paiva *et al.*, 2017). Este aspeto, poderá ser minorado através da partilha de práticas pedagógicas ligadas à construção ou adaptação de uma APC, bem como a partilha de metodologia de implementação da atividade (na escola e com os alunos) e de avaliação da atividade entre professores.

## METODOLOGIA

### Caracterização da Amostra

O estudo foi aplicado num agrupamento de escolas do centro de Portugal, inicialmente com o convite a 137 alunos e respetivos pais/EE do 8.º ano do ensino básico, com idades entre os 13 e os 14 anos. Numa amostra de conveniência, durante uma aula, os professores de Físico-Química forneceram o documento de consentimento informado. Foram devolvidos 79 documentos de consentimento informado. Apenas foram considerados para tratamento os dados referentes a alunos que, cumulativamente, preencheram os questionários, pré e pós-teste, e que realizaram a atividade proposta, correspondente a 58 alunos e, por sua vez, de 58 pais/EE, num total de 116 participantes, distribuídos de acordo com a Tabela 1. A percentagem de alunos que realizou a atividade e de pais/EE que preencheram os questionários foi calculada considerando o número total de consentimentos informados devolvidos pelos alunos (N=79).

**Tabela 1** - Evolução do número (N) de alunos e de pais/EE em cada fase da recolha de dados para cada grupo.

GRUPO	Alunos/EE convidados a participar	Alunos com consentimento informado	Pré-Teste Alunos	Alunos que realizaram atividade	Pós-teste Alunos	Questionários aos pais/EE no final da atividade
Grupo 1	55	31	31	21 (67.7%) M=24% F=76%	21	19 (61.3%) M=42% F=58%
Grupo 2	20	20	20	19 (95.0%) M=47% F=53%	19	14 (70,0%) M=29% F=71%
Grupo 3	62	28	28	18 (64.3%) M=22% F=78%	18	15 (53.6%) M=0% F=100%
<b>Total</b>	137	<b>79</b>	79	<b>58 (73.4%)</b> M=31% F=69%	58	<b>48 (60.8%)</b> M=25% F=75%

Relativamente ao intervalo de idade dos 48 pais/EE que devolveram o inquérito por questionário, 21 tinham idades compreendidas entre os 36 e os 45 anos, 24 entre os 46 e os 55 anos, 2 com 35 anos ou menos e apenas 1 com idade igual ou superior a 56 anos.

No que respeita ao nível habilitacional dos pais/EE, verificou-se que os do Grupo 1 têm um nível habilitacional superior e que 41,7% dos pais/EE têm uma escolaridade ao nível do ensino secundário, no entanto, não foram encontradas diferenças com significado estatístico.

No que concerne à amostra, participaram ainda três professores, dois do sexo masculino e uma do sexo feminino, do grupo 510 (Físico-Química) com experiência de mais de 20 anos de ensino e que lecionavam a disciplina de Físico-Química no 8.º ano de escolaridade nas turmas que a escola possuía nesse ano de escolaridade. A professora, que era a própria investigadora, que lecionava a disciplina de Físico-Química e, simultaneamente, era a diretora de turma do Grupo 2 propôs a atividade na escola e foi quem orientou todo o seu processo de implementação.

### Design-metodológico e descrição das estratégias de intervenção adotadas

Um plano de investigação quasi-experimental foi implementado, com pré e pós-teste, com duas condições: aplicação da NanoAPC nos grupos 1 e 2 (grupos experimentais); aplicação de uma Ficha de Atividades no grupo 3 (grupo controlo). A variável dependente foi o conhecimento de NT dos alunos, sendo medidas por questionário, abordado adiante. Também foi recolhido o desempenho dos intervenientes nas diferentes atividades: dos alunos, na área de trabalho individual, das díades alunos e pais/EE, na área de trabalho colaborativo e a avaliação da atividade dos alunos e dos pais/EE, na área de opinião. Os Grupos 1 e 3 foram formados por alunos de diferentes turmas do 8.º ano de escolaridade, que possuíam consentimento informado para participar na investigação. As turmas que integraram estes dois grupos foram escolhidas aleatoriamente. O Grupo 2 correspondeu a uma outra turma na qual a investigadora era simultaneamente professora de Físico-Química e diretora de turma. Nesta turma aplicou a NanoAPC construída no *WordPress*, tendo orientado e iniciado a atividade com os alunos na aula com a utilização do *smartphone* e os auriculares. O Grupo 1 também foi sujeito à mesma atividade NanoAPC, mas apenas com as orientações iniciais do professor na aula, sendo atividade feita em casa. O Grupo 3 realizou uma Ficha de Atividades do mesmo tema, uma vez que o programa e as aprendizagens essenciais para o 8.º ano não contemplam explicitamente a abordagem a conteúdos de NT. Todos os grupos tiveram orientações fornecidas pelos respetivos professores de Físico-Química sobre a estrutura da atividade. A Tabela 2 resume as condições experimentais a que cada grupo foi sujeito.

**Tabela 2** - Formação dos grupos de alunos por condição experimental.

GRUPO	Atividade	Local da realização da atividade	Formato de devolução da resposta	Professor envolvido
Grupo 1	NanoAPC	A atividade foi realizada em casa.	Google Forms ou folha de resposta	Professor de FQ
Grupo 2	NanoAPC	A atividade foi iniciada na aula com acesso a telemóvel e uso de auriculares por aluno. A restante atividade é realizada em casa.	Google Forms ou folha de resposta	Professora/ Investigadora e Diretora de Turma
Grupo 3	Ficha de Atividades	A atividade foi realizada em casa.	Folha de resposta	Professor de FQ

Salienta-se que o número do grupo ao qual os pais/EE pertencem é igual à numeração dada ao respetivo grupo onde o filho/aluno está inserido, com a finalidade de ser mais fácil a interpretação de dados que envolvem os respetivos grupos de aluno/EE.

Como a participação dos alunos e pais/EE requeria um documento de consentimento informado, o grupo disciplinar de professores de Físico-Química da escola considerou não atribuir uma ponderação aos resultados obtidos na atividade, por forma a tornar a avaliação final equitativa, dada a natureza facultativa da participação dos alunos nesta investigação. A atividade foi incluída no Plano Anual de Atividades da escola e aprovada em reunião de Conselho Pedagógico. Os diretores de turma das turmas envolvidas também foram informados e colaboraram na divulgação da atividade junto dos pais/EE.

## Construção dos recursos usados na intervenção

### NanoAPC

Optou-se por não realizar a construção da NanoAPC no formato tradicional, em papel, até então utilizado na implementação de atividades deste tipo (Paiva *et al.*, 2017), mas em formato digital. Para isso, na construção do site da atividade foi utilizado o *WordPress* e a atividade foi designada “Nano é pequeno e diferente – implicações na sociedade”, disponível no endereço <https://www.fc.up.pt/apc/nanoapc/>. Mantiveram-se as seis áreas da APC referidas na literatura, com as seguintes designações: A- Boas Vindas; B- Contexto; C- Individual; D- Colaborativo; E- Continua e F- Opinião (Figura 2). Todas as áreas da APC continham ícones que auxiliavam o aluno e os pais/EE a saberem em que área deveriam intervir. Também foi associada informação áudio com o intuito de reforçar e de complementar o texto de cada página.

As tarefas obrigatórias foram colocadas em locais explícitos (retângulos coloridos) e em pequeno número, com o objetivo de evitar um grau de saturação na realização da atividade, que culminasse no seu abandono. Ainda assim, optou-se por colocar algumas tarefas como “sugestões” para aqueles pais/EE que pretendessem aprofundar mais o tema. No início das áreas C, D, E e F, os intervenientes poderiam aceder a um formulário *Google* para responderem às tarefas propostas. Preferiu-se, também, dar a possibilidade ao aluno e ao pais/EE de poderem optar por responderem às tarefas num documento em papel fornecido pelos professores ou nos formulários *Google* criados para o efeito e que foram incluídos no próprio site.



**Figura 2** - Ilustração da área de Boas Vindas do site “Nano é pequeno e diferente”

(<https://www.fc.up.pt/apc/nanoapc/>)

Considerando a faixa etária dos alunos disponibilizou-se no site da NanoAPC alguns recursos que abordavam e, simultaneamente, permitiam refletir sobre alguns dos temas do questionário *NanoKI* referidos no artigo de Schönborn *et al.* (2015): nanoescala e o tamanho relativo de nano-objetos (na página 1 da área de trabalho individual); consequências da relação área/volume em objetos em diferentes escalas (na página 2 da área de trabalho individual); implicações de nano-propriedades para o desenvolvimento de nanotecnologia (nas páginas 2 e 3 da área de trabalho individual). Também foram introduzidos aspetos sociocientíficos relacionados com a perceção dos potenciais benefícios e riscos da NT, nomeadamente, através de informação constante da *European Chemicals Agency* (ECHA), que está disponível em língua portuguesa na página 3 da área de trabalho individual. Esta área continha apenas quatro tarefas de realização obrigatória.

Na área “trabalho colaborativo”, os alunos foram solicitados a partilhar com o pais/EE as noções que tinham aprendido na secção anterior e a observarem um vídeo de cerca de 16 minutos “O incrível e infinitamente pequeno universo da nanotecnologia”, que aborda conceitos, aplicações, implicações para a sociedade da NT e incertezas inerentes a esta nova área. Apenas foi formulada uma questão para que a

díade pudesse refletir sobre o conteúdo do vídeo e comparar os benefícios e os riscos da NT. Uma outra questão foi formulada, mas como sugestão.

No que respeita à área “continuar” todas as tarefas foram colocadas como sugestões, remetendo para áreas de pesquisa de centros de investigação. Por fim, a área “opinião” permitiu os intervenientes fazerem a avaliação da atividade.

Antes da implementação da NanoAPC com os grupos de investigação, foi realizado um estudo piloto com um grupo de alunos do 8.º ano que não pertenciam à escola onde foi realizada a investigação, por forma a detetar dificuldades de interpretação de textos e/ou tarefas e otimizar procedimentos.

### *Ficha de Atividades*

De modo a que o Grupo 3 pudesse aceder aos mesmos conteúdos de NT, construiu-se uma Ficha de Atividades, com a mesma designação que foi atribuído ao site da NanoAPC “Nano é pequeno e diferente: implicações para a sociedade”, tendo sido fornecida em papel e disponibilizada em documento PDF através da plataforma *Moodle* da escola, de modo a que estes intervenientes pudessem aceder aos links com mais facilidade.

A Ficha de Atividades continha apenas três áreas: uma breve introdução dirigida ao aluno e aos respetivos pais/EE, seguidas por uma área A, destinada apenas ao aluno, uma área B, destinada à díade aluno-EE e, por fim, uma área C, correspondente à opinião dos intervenientes sobre a atividade. Para responderem às questões formuladas de todas as áreas da ficha, os alunos e os pais/EE utilizaram uma folha de resposta em papel que deveria ser devolvida ao professor após a realização da mesma.

### *Construção do Guião do Professor*

Nesta investigação, por estarem envolvidos três professores para além da investigadora, na implementação das atividades, criou-se um “Guião do Professor” com o intuito de os orientar na apropriação e na implementação da atividade, quando abordassem os conteúdos e a pedagogia associada, no seguimento de algumas das diretrizes do artigo de Orgil e Wool (2014). Por outro lado, o guião permitiu fornecer recomendações por forma a implementar a atividade, em virtude desta contemplar conteúdos menos familiares para os professores. As orientações do “Guião do Professor” englobavam as respostas a um conjunto de questões que passavam por identificar: a que nível de escolaridade a atividade é dirigida, os objetivos da atividade os conteúdos a abordar, as áreas de competências do Perfil dos Alunos que os alunos devem desenvolver, a ligação entre os conteúdos de Química e a NT, os pré-requisitos que os alunos devem possuir, a forma de avaliação do conhecimento de NT dos alunos antes e após a atividade, as estratégias pedagógicas que devem ser utilizadas para orientar os alunos no entendimento de conceitos de NT, bem como os desafios e obstáculos que os alunos enfrentam durante a atividade.

### *Elaboração do questionário pré e pós-teste*

Foi construído um inquérito por questionário que permitisse avaliar os conhecimentos de conceitos de NT dos alunos, antes e após a realização da atividade. O inquérito foi adaptado de um instrumento validado e publicado com a designação “nano-knowledge instrument (NanoKI)” com 28 questões que permitiam avaliar o nível de conhecimento de NT, numa escala com as opções “sim, não, não sei” (Schönborn, Höst, & Lundin Palmerius, 2015). As questões estavam agrupadas por quatro temas da NT: Tema 1- A nanoescala e o tamanho relativo de nano-objetos; Tema 2 - Dinâmica, forças e interações entre objetos em nanoescala; Tema 3 - Consequências da relação área/volume em objetos em diferentes escalas e Tema 4 - Implicações de nanopropriedades para o desenvolvimento de nanotecnologia.

Como este instrumento foi acedido a partir de artigos científicos em língua inglesa, procedeu-se a uma tradução de cada item, revista por pares, e submeteu-se a uma retroversão por um perito da área. Comparou-se o resultado da retroversão com os itens que foram traduzidos e procedeu-se a alguns ajustes, por forma a serem compreensíveis em língua portuguesa e manterem a medição do mesmo construto.

Atendendo à faixa etária e ao grau de dificuldade de certos de itens, optou-se por retirar alguns e manter os que mais se adaptavam ao nível de ensino dos alunos. Mantiveram-se, assim, todos os itens relacionados com o Tema 1 (A nanoescala e o tamanho relativo dos nano-objetos – itens Q1 ao Q7), com o Tema 3 (Consequências da relação área da superfície e volume de objetos em diferentes escalas – itens Q15 ao Q18) e com o Tema 4 (Implicações de nanopropriedades para o desenvolvimento da NT – itens Q26 e

Q28). Os restantes itens do Tema 4 foram retirados, principalmente, por abordarem os nanotubos de carbono e as suas propriedades, que fazem mais sentido serem abordados com mais pormenor no 9.º ano de escolaridade. Os itens do Tema 2 (Dinâmica, forças e interações entre objetos em nanoescala) foram retirados por o seu estudo não ser adequado a este nível de ensino. Logo, procurou-se adaptar o questionário *NanoKI* à faixa etária da amostra de alunos em estudo, passando para 13 itens.

O questionário foi testado numa pequena amostra piloto de alunos do 8.º ano e de pais/EE de uma outra escola, para verificar se havia algum item que lhes suscitasse dúvida e se seria necessário reformular algum. Findo este processo, foi pedida a autorização para aplicação de inquéritos/realização de estudos de investigação em meio escolar, ao abrigo do Despacho N.º15847/2007, publicado no Diário da República, 2ª série n.º 140, de 23 de julho, tendo sido submetido para apreciação da Direção-Geral da Educação (DGE).

Os questionários não continham a identificação dos participantes, no entanto, foram codificados apenas com o intuito de avaliar a participação colaborativa na intervenção pedagógica entre a díade aluno-pais/EE. Em relação à codificação, foi criado um cartão de investigação com um número que foi dado ao aluno no início do processo e cujo código deveria ser sempre usado quando este fosse solicitado, no período de recolha de dados respeitantes aos alunos como aos respetivos pais/EE. Deste modo, foi garantido o anonimato, já que não se soube de quem era o código, mas apenas que os instrumentos foram respondidos com um determinado código.

### **Recolha de dados**

O estudo teve início com a distribuição dos consentimentos informados fornecidos aos alunos pelos respetivos professores de Físico-Química, na última semana de março, com um período de recolha até ao final da última semana de aulas do 2.º período, correspondente a duas semanas. Foi pedida a cooperação aos DT para sensibilizarem os pais/EE para a sua participação no final do 2.º período, aquando da receção das fichas de avaliação final, tendo estes recebido alguns dos documentos de consentimento informado que os alunos não lhes entregaram atempadamente. No início de maio, foi disponibilizado aos professores a documentação e orientações necessárias para a implementação da atividade.

Os professores envolvidos na investigação foram orientados verbalmente em reuniões de trabalho colaborativo, mas também foi-lhes disponibilizado, uma semana antes da implementação da atividade, um envelope com todo o material que incluía o Guião do Professor, referido anteriormente, os códigos de investigação a distribuir aleatoriamente aos alunos que possuíam consentimento informado, os questionários pré-teste e um documento com as etapas e as orientações de implementação da investigação, por forma a tornar mais claro o procedimento que deveria ser adotado nas várias etapas, para cada grupo de alunos. Os pais/EE foram informados que, de acordo com a disponibilidade, poderiam realizar as tarefas da atividade de uma só vez ou, se preferissem, poderiam optar por realizá-las em diferentes momentos. Contudo, apenas quando todas as tarefas estivessem realizadas, o aluno deveria submeter e/ou devolver a atividade ao professor. Os diferentes grupos de investigação tiveram duas semanas para explorarem a atividade. Depois disso, e durante uma aula de Físico-Química, os alunos preencheram os questionário pós-teste. Os pais/EE preencheram apenas o questionário no final da atividade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

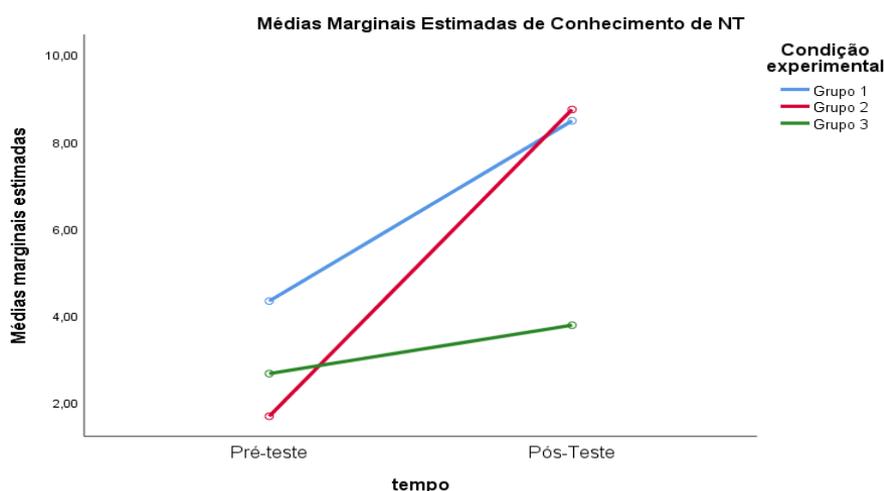
### **Conhecimentos de nanotecnologia dos alunos e dos pais/EE**

No que diz respeito ao conhecimento de NT dos alunos, medido pelo questionário numa escala com as opções “sim, não, não sei”, aplicado como pré e pós-teste, analisou-se a média de respostas corretas obtidas por cada grupo de alunos (Tabela 3), num total de 13 itens. Pela análise das médias obtidas, o Grupo 1 apresentou maior conhecimento de NT, antes de realizar a atividade (4,33), e o Grupo 2, menor conhecimento (1,68). Após a realização das atividades, constata-se que o Grupo 2 apresentou uma maior média de respostas corretas (8,74), seguindo-se o Grupo 1 (8,48). Entre o pré (2,67) e pós-teste (3,78) o Grupo 3 também melhorou o seu conhecimento de NT.

A Figura 3 mostra as médias marginais estimadas de conhecimento geral da NT dos grupos de alunos, ao longo do tempo, comprovando a evolução do conhecimento de NT dos alunos entre o pré-teste e o pós-teste, respetivamente, no Grupo 1 de 4,33 para 8,48, no Grupo 2 de 1,68 para 8,74 e no Grupo 3 de 2,67 para 3,78.

**Tabela 3** - Estatística descritiva de conhecimento de NT, por condição experimental.

		Condição experimental	Média	Erro Desvio	N
Pré-teste Conhecimento de NT alunos		Grupo 1	4,33	2,33	21
		Grupo 2	1,68	1,95	19
		Grupo 3	2,67	2,14	18
		Total	2,95	2,34	58
Pós-teste Conhecimento de NT alunos		Grupo 1	8,48	1,86	21
		Grupo 2	8,74	1,52	19
		Grupo 3	3,78	3,00	18
		Total	7,10	3,12	58



**Figura 3** - Gráfico das médias marginais estimadas do conhecimento de NT, por condição experimental.

Para comparar os resultados obtidos no questionário nos três grupos experimentais, utilizou-se o teste estatístico Anova Mista de medidas repetida. No teste de efeito entre sujeitos, obteve-se  $F(2, 55) = 12,946$ ,  $p < ,001$  (eta parcial ao quadrado) = ,320. No Rastreamento de Pillai, realizado dentro de sujeitos, os efeitos do tempo e de interação entre tempo\*condição experimental apresentaram significado estatístico ( $p < ,001$ ). Por isso, procedeu-se à comparação dos diferentes pares de grupos e obtiveram-se os resultados constantes na Tabela 5. Da análise da tabela, confirmou-se que o efeito interação tempo\*condição experimental foi estatisticamente significativo e que a intervenção realizada produziu um aumento no conhecimento de NT, em todos os grupos. Confrontando esses resultados com os da Tabela 4, verifica-se que os alunos dos Grupos 1 e 2 que realizaram a atividade no site NanoAPC evidenciaram uma melhoria significativa dos resultados no conhecimento de NT comparativamente aos do Grupo 3 que realizaram uma Ficha de Atividade. O declive mais acentuado obtido no Grupo 2 do gráfico da referida figura comprova a maior força de efeito da intervenção efetuada, seguido pelo Grupo 1 e, por fim, pelo Grupo 3. O tamanho de efeito (eta parcial ao quadrado) foram elevados (Cohen, 1988) para todos os pares de grupos comparados.

**Tabela 4** - Comparação dos diferentes grupos no conhecimento geral de NT.

Teste aplicado	Rastreamento Pillai
Efeito	Efeito interação tempo*condição experimental
Grupos 1 e 2	$F(1, 38) = 26,85$ , $p < ,05$ Tamanho de efeito = ,41
Grupos 1 e 3	$F(1, 37) = 22,22$ , $p < ,05$ Tamanho de efeito = ,38
Grupos 2 e 3	$F(1, 35) = 93,66$ , $p < ,05$ Tamanho de efeito = ,73

Desta forma, constatou-se que as duas atividades implementadas produziram uma melhoria dos conhecimentos de NT nos alunos, no entanto, a maior força de efeito ( $F_{(41)}$ ) foi conseguida pela aplicação da NanoAPC com a intervenção inicial do professor em sala de aula. O uso do smartphone e dos auriculares, na fase inicial de exploração das áreas de “Boas Vindas”, de “Contexto” e no início da área de “Trabalho individual”, mostrou-se útil para a apropriação da NanoAPC pelos alunos e, conseqüentemente, melhorou a taxa de participação na atividade. Estes dispositivos têm-se mostrado vantajosos para aumentar a motivação na aprendizagem de NT e serem um meio acesso imediato a informações on-line (Cheng, TC Yang & RR Kuo, 2016).

No que respeita ao conhecimento de NT dos grupos de pais/EE, averiguou-se que os do Grupo 2 apresentam um maior posto médio (26,25), de acordo com a Tabela 5, no entanto, por aplicação do teste de Kruskal-Wallis, verificamos que a sua distribuição é a mesma entre as diferentes condições experimentais:  $H(2) = 0,314$ ,  $p > ,05$ , não havendo diferenças com significado estatístico.

**Tabela 5** - Posto médio do conhecimento da NT dos pais/EE.

Condição experimental		N	Posto Médio
Conhecimento de NT dos pais/EE	Grupo 1	19	23,84
	Grupo 2	14	26,25
	Grupo 3	15	23,70
	<b>Total</b>	<b>48</b>	

### Desempenho dos alunos na NanoAPC e na Ficha de atividades

Recorda-se que as tarefas distribuídas no Grupo 3, na ficha de atividades, foram semelhantes às dos Grupos 1 e 2, na NanoAPC, por forma a se poder comparar os resultados nos dois modos de apresentação e de estruturação da atividade.

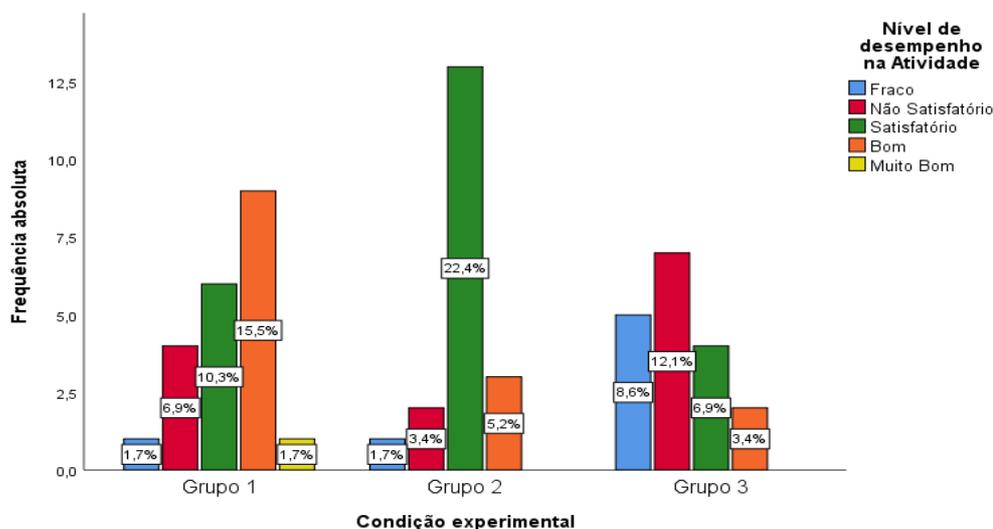
Da análise das respostas apresentadas pelos alunos, na área de trabalho individual às tarefas propostas, verificou-se que, dos 58 alunos participantes, 39,7% acertaram na questão C1 relativa a conversão de unidades e notação científica. Na tarefa C2, 70,7% dos alunos responderam correta e/ou parcialmente quando assinalaram outras opções que não se enquadravam na nanoescala. Na tarefa C3, 63,8% escolheram total ou parcialmente as opções corretas. Quanto à última tarefa obrigatória C4, 82,8% dos alunos identificaram benefícios e riscos inerentes à NT, apesar de se verificar que nem todos a completaram na totalidade.

**Tabela 6** – Desempenho dos alunos nas atividades

	Questão	% Respostas Corretas
Desempenho dos alunos nas atividades (N = 58)	C1	39,7
	C2	70,7
	C3	63,8
	C4	82,8

Na área de trabalho individual constatou-se que o desempenho dos alunos nos conceitos de tamanho e de escala foi mais baixo comparativamente a outros conceitos de NT e, por isso, os alunos apresentam dificuldades em aprender escalas pequenas. Este resultado corrobora com algumas das conclusões da investigação de Hingant e Albe (2010). A articulação curricular entre as disciplinas de Físico-Química e de Matemática na implementação a atividade poderá ser uma mais valia para ajudar os alunos a minorarem essas dificuldades quando estudam o tamanho do átomo, as escalas pequenas e analisam números em notação científica.

Procedeu-se, ainda, a uma exploração do nível de desempenho da atividade, no seu global, por condição experimental, destacando-se os valores obtidos na Figura 4. Os alunos do Grupo 1 apresentaram a maior percentagem de alunos com um desempenho bom (15,5%), os do Grupo 2 com maior percentagem de desempenho satisfatório (22,4%) e o Grupo 3 com maior percentagem de desempenho não satisfatório (12,1%) e fraco (8,6%).



**Figura 4** - Nível de desempenho nas atividades, por condição experimental.

Por aplicação do teste qui-quadrado de Pearson, constatou-se que existem diferenças com significado estatístico no nível de desempenho na atividade, por condição experimental,  $\chi^2(8, 58) = 21.44$ ;  $p < ,05$ . Por isso, avançou-se para o teste a Kruskal-Wallis de comparação do posto médio que mostrou que: no Grupo 1, 36,40; no grupo 2, 31,55 e no Grupo 3, 19,28. Este teste também evidenciou que há efeito da condição experimental, no nível de desempenho na atividade,  $H(2) = 11.401$ ;  $p < ,05$ . No entanto, permitiu fazer comparações entre pares de grupos, exibindo apenas diferença com significado estatístico entre o Grupo 1 e o Grupo 3, com  $p < ,05$  (valor de significância ajustada pela correção de Bonferroni para testes múltiplos). Desta forma, constatou-se que os alunos do Grupo 1 (posto médio = 36,40) apresentaram melhores resultados do que os do Grupo 3 (posto médio = 19,28).

Relativamente à área de trabalho colaborativo, observou-se que, em todos os grupos, maioritariamente, as respostas dadas evidenciaram uma maior abordagem às aplicações benéficas da NT na área da saúde, nomeadamente no tratamento de doenças como o cancro. Foi dada uma menor ênfase aos riscos da NT, com a prevalência para os perigos para a saúde e para o ambiente e a criação de novo tipo de armamento. Algumas respostas devolvidas pelos Grupos 1 e 2 não evidenciaram um grau de reflexão no item “sugestão D3”, assim como na área E, também contemplada com tarefas opcionais.

### Opinião dos alunos e dos pais/EE nas atividades | Opinião dos professores

Cada atividade continha um pequeno questionário para que os intervenientes pudessem dar a sua opinião, numa escala de Likert com 5 pontos (1 – Muito mau; 2- Mau; 3- Razoável; 4 – Bom; 5 – Muito Bom), nos seguintes aspetos: 1 – O que achei do desafio da atividade?; 2 – Como foi o meu desempenho nas questões técnicas com o computador?; 3 - Como foi o nosso nível de diálogo?; 4 – Contributo para a melhoria dos conhecimentos sobre Nanotecnologia; 5 – Contributos para a escolha consciente de produtos que contenham nanomateriais; 6 – Contributos desta atividade relacionar harmoniosamente o computador, o estudo e o diálogo familiar; 7- Como estava proposta a atividade em termos de clareza, motivação e recursos fornecidos?; 8 – Na globalidade como avalio esta atividade?

Nem todos os alunos e respetivos pais/EE concluíram a secção correspondente à sua opinião da atividade. Apenas foram preenchidas na totalidade: no Grupo 1 (16), no Grupo 2 (15) e no Grupo 3 (16), sendo estas opiniões consideradas para tratamento (Tabela 7). Verificou-se que, tanto os alunos, como os pais/EE avaliaram cada item na escala entre o razoável (3) e bom (4). Por isso, de acordo com as suas opiniões, consideraram que as atividades foram desafiantes (item 1), denotaram habilidades razoáveis com as questões técnicas com o computador (item 2), promoveram a parceria entre a escola e a família (itens 3 e 6) e contribuíram para a nanoliteracia (itens 4 e 5). A título de exemplo, no item 8 “Na globalidade como avalio

esta atividade?”, para os alunos, o Grupo 1 apresentou uma média de 3,50 ( $Dp = 0,71$ ), o Grupo 2, 3,60 ( $Dp = 1,02$ ) e o Grupo 3, 3,63 ( $Dp = 0,60$ ). Para os pais/EE foi obtido no Grupo 1 uma média de 4,00 ( $Dp = 0,71$ ), no Grupo 2, 3,87 ( $Dp = 1,02$ ) e no Grupo 3, 3,81 ( $Dp = 0,63$ ). Por isso, a avaliação global das atividades pelos intervenientes foi substancialmente razoável, com um ligeiro incremento para os pais/EE.

**Tabela 7** – Resumo da média obtida em cada item na área “opinião”, por condição experimental.

Item	Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
		Média (Dp)							
Alunos	1	<b>3,56</b> (0,86)	<b>3,88</b> (0,78)	<b>3,69</b> (0,68)	<b>3,50</b> (0,71)	<b>3,88</b> (0,82)	<b>3,94</b> (0,83)	<b>3,25</b> (0,66)	<b>3,50</b> (0,71)
	2	<b>3,33</b> (1,01)	<b>3,33</b> (1,01)	<b>3,80</b> (1,11)	<b>3,53</b> (1,09)	<b>3,69</b> (0,98)	<b>3,53</b> (1,02)	<b>3,20</b> (0,75)	<b>3,60</b> (1,02)
	3	<b>3,44</b> (0,93)	<b>3,56</b> (0,86)	<b>4,19</b> (0,73)	<b>3,75</b> (1,03)	<b>3,69</b> (0,98)	<b>4,06</b> (0,75)	<b>3,44</b> (0,86)	<b>3,63</b> (0,60)
Pais/EE	1	<b>3,88</b> (0,70)	<b>3,56</b> (0,61)	<b>3,94</b> (0,83)	<b>4,06</b> (0,66)	<b>3,94</b> (0,78)	<b>3,81</b> (0,54)	<b>3,25</b> (0,66)	<b>4,00</b> (0,71)
	2	<b>3,73</b> (1,00)	<b>3,27</b> (0,85)	<b>4,00</b> (1,03)	<b>3,73</b> (1,06)	<b>3,73</b> (0,77)	<b>3,47</b> (0,88)	<b>3,53</b> (0,81)	<b>3,87</b> (1,02)
	3	<b>3,69</b> (0,92)	<b>3,56</b> (0,61)	<b>4,13</b> (0,78)	<b>3,81</b> (1,01)	<b>3,63</b> (0,93)	<b>4,00</b> (0,71)	<b>3,63</b> (0,86)	<b>3,81</b> (0,63)

Contudo, os resultados relativos às opiniões de cada item não apresentaram diferenças com significado estatístico por aplicação de testes não paramétricos de Kruskal-Wallis entre os grupos de alunos e, posteriormente, entre os grupos de pais/EE. Também se efetuou uma análise idêntica, mas desta vez, usou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney entre as amostras independentes, correspondentes ao grupo de alunos e ao respetivo grupo de pais/EE, tendo-se obtido a mesma conclusão, isto é, a opinião dos alunos foi idêntica à dos pais/EE, com  $p > ,05$  em cada item.

Relativamente à opinião dos professores, em reuniões de trabalho colaborativo, os professores participantes mencionaram que a atividade NanoAPC deve estar contemplada nos instrumentos de avaliação e nos critérios de avaliação da disciplina, caso contrário, os alunos e os pais/EE podem não ter a motivação necessária para utilizarem o seu tempo em algo que não fosse para a avaliação dos seus educandos. Na implementação da atividade, apontaram como dificuldades: a extensão e o tempo para a realização da atividade, o retirar tempo útil das aulas para orientar os alunos num conteúdo que não é contemplado no programa, a colaboração limitada dos alunos e dos pais/EE no cumprimento dos prazos estabelecidos para a realização da atividade e para a entrega dos questionários e a falta de tempo dos pais/EE. Foram considerados aspetos positivos das atividades: mostrar aos alunos a importância da Físico-Química no desenvolvimento de novos produtos que incorporam nanomateriais e que já são utilizados no dia a dia, motivar os alunos para a Físico-Química, esclarecer o que é a NT, aceder a novos conteúdos e despertar para a temática da NT.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades construídas neste estudo (NanoAPC e a Ficha de Atividades) produziram uma melhoria dos conhecimentos da NT nos alunos, mas com uma maior força de efeito com a aplicação da NanoAPC. Tiveram como objetivo contribuir para o conhecimento da NT dos alunos, sensibilizar os pais/EE para esta área e, desta forma, contribuir para melhorar a nanoliteracia e construir uma cidadania informada e crítica.

A interação entre os alunos e os pais/EE, realizada na área de trabalho colaborativo, proporcionou a transmissão de conhecimento de pequenas escalas de comprimento, de propriedades de materiais com a forma nano e de aplicações da NT na sociedade. Assim, constatou-se que, a partir da escola, os alunos agiram como divulgadores, levando para casa conhecimentos de NT e promoveram a reflexão sobre as aplicações da NT junto dos pais/EE, como sugerido pelas recomendações de atividades de divulgação da NT de Debry, Marschalek, Hofer e Handler (2014).

Estas conclusões corroboram um estudo realizado por Paiva *et al.* (2017) que reconhece que os pais/EE podem ganhar com este tipo de atividades que envolvem media digitais, visto que, em algumas situações, os estudantes assumem o papel “mais conhecedor que outros” (*More Knowledgeable Other - MKO*) referido por Vygotsky (1978), por levarem para casa o conhecimento e uma oportunidade dos pais refletirem sobre um tema sociocientífico.

Na avaliação da atividade, tanto os alunos como os pais/EE apreciaram as atividades com um ligeiro incremento para os pais, o que nos leva a concluir que vale a pena envolver os pais/EE.

Contudo, dada a natureza facultativa da participação dos alunos e dos pais/EE sujeita à obtenção de consentimentos informados, a taxa de participação não foi a inicialmente prevista. Além do mais, o cruzamento de dados obtidos dos alunos e dos pais/EE numa atividade que maioritariamente foi realizada em casa, sem ponderação na avaliação sumativa dos alunos, levou a que a participação dos alunos e pais/EE não tivesse sido a desejável.

Ainda assim, o recurso digital NanoAPC, disponível online no endereço <https://www.fc.up.pt/apc/nanoapc>, mostrou-se particularmente eficaz para introduzir aos alunos a NT, mas também sensibilizar os pais/EE para esta área, podendo ser utilizado por professores que mostrem interesse em interligar a NT com conteúdos de química, mas que tenham limitações de tempo devido à gestão do currículo.

## **Agradecimentos**

Os autores expressam a sua gratidão a todos os que participaram no estudo. A vossa disponibilidade para contribuir e partilhar as vossas ideias é muito apreciada. Agradecemos também ao CIQUP, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (UIDB/00081/2020), IMS- Instituto de Ciências Moleculares (LA/P/0056/2020).

## **REFERÊNCIAS**

- Blonder, R., & Mamlok-Naaman, R. (2016). Learning about Teaching the extracurricular topic of nanotechnology as a vehicle for achieving a sustainable change in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, 345-372. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9579-0>
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2012). Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chemical Education. Research and. Practice*, 13, 500–516. <https://doi.org/10.1039/C2RP20026K>
- Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of human development: Experiments by nature and design*. Cambridge, United States of America: Harvard University Press.
- Cheng, P-H., Yang, Ya-T. C., Chang, S.-H G., & Kuo, F-R R. (2016), 5E Mobile Inquiry Learning Approach for Enhancing Learning Motivation and Scientific Inquiry Ability of University Students. *IEEE Transactions on Education*, 59 (2), pp. 147-153. <https://doi.org/10.1109/TE.2015.2467352>
- Debry, M., Marschalek, I., Hofer, M., & Handler, K. (2014). *D.7.6 - Policy Recommendations. Monitoring public opinion on Nanotechnology in Europe*. NANOPINION - European Platform on Nano Outreach and Dialogue (NODE). Recuperado de [http://results.nanopinion.archiv.zsi.at/download/nanopinion\\_D7\\_Policy\\_recommendations.pdf](http://results.nanopinion.archiv.zsi.at/download/nanopinion_D7_Policy_recommendations.pdf)
- Dodge, B. (1995). *Some Thoughts about WebQuests*. Recuperado de [http://webquest.org/sdsu/about\\_webquests.html](http://webquest.org/sdsu/about_webquests.html)
- Dorouka, P., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2021). Nanotechnology and mobile learning: perspectives and opportunities in young children's education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 13(3), 237 - 252. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2021.10036680>
- Eilks, I., Markic, S., & Witteck, T. (2010). Collaborative innovation of the science classroom by Participatory Action Research—Theory and practice in a project of implementing cooperative learning methods in chemistry education. In M. Valenčič Zuljan & J. Vogrinc (Eds.), *Facilitating effective student learning through teacher research and innovation* (pp. 77–101). Ljubljana, Slovenia: University of Ljubljana.
- Epstein, J. L., Sanders, M. G.; Simon, B. S., Salinas, K. C., Jansorn, N. R., Van Voorhis, & F. L. (2001). *School, family, and community partnerships: Preparing educators and improving schools*. Boulder, CO: Westview.
- Gaskell, G., Stares, S., Allansdottir, A., Allum, N., Castro, P., Esmer, Y., ... Wagner, W. (2010). *Europeans and Biotechnology in 2010: Winds of change?* Luxembourg: European Commission. <https://doi.org/10.2777/23393>

- Ghattas, N. I., & Carver, J. S. (2012). Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), 271-284.  
<https://doi.org/10.1080/02635143.2012.732058>
- Hingant, B., & Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: A review of literature. *Studies in Science Education*, 46(42), 121-152.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2010.504543>
- Johnson, G. M. (2010). Internet Use and Child Development: Validation of the Ecological Techno-Subsystem. *Educational Technology & Society*, 13(1), 176–185.  
Retirado de <https://www.learntechlib.org/p/75228/>
- Jones, M., Blonder, R., Gardner, G., Albe, V., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1490-1512.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
- Joubert, I., Geppert, M., Ess, S., Nestelbacher, R., Gadermaier, G., Duschl, A., Bathke, A. C., & Himly, M. (2020). Public perception and knowledge on nanotechnology: A study based on a citizen science approach. *NanoImpact*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100201>
- LeBlanc, S. (2020). Nanotechnology as a Tool for Science and Scientific Literacy. In P. Norris & L. Friedersdorf (Eds.) *Women in Nanotechnology. Women in Engineering and Science*. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-19951-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19951-7_2)
- Lin, Shu-Fen, & Lin, Huann-shyang (2016). Learning nanotechnology with texts and comics: the impacts on students of different achievement levels. *International Journal of Science Education*, 38(8), 1373-1391.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1191089>
- Mandrikas, A., Michailidi E., & Stavrou D. (2020). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education*, 38(4), 377-395. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>
- Marschalek, I., & Hofer, M. (2017). Nano and the public. *Nature Nanotech*, 12, 92..  
<https://doi.org/10.1038/nnano.2016.288>
- Martins, G. O., Gomes, C. A. S., Brocardo, J., Pedroso, J. V., Camilo, J. L. A., Silva, L. M. U., Encarnação, M. M. G. A., Horta, M. J., Calçada, M. T. C. S., Nery, R. F. V., & Rodrigues, S. M. C. V. (2017). Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória. Ministério da Educação, Direção-Geral da Educação. Lisboa, Portugal.  
Recuperado de [https://dqe.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto\\_Autonomia\\_e\\_Flexibilidade/perfil\\_dos\\_alunos.pdf](https://dqe.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/perfil_dos_alunos.pdf)
- Ministério da Educação, Portugal. (2018a). Aprendizagens Essenciais – 3.º Ciclo do Ensino Básico | Físico-Química Recuperado de <https://www.dqe.mec.pt/programas-e-metas-curriculares/fisico-quimica>
- Ministério da Educação, Portugal. (2018b). Aprendizagens Essenciais – 10º ano | Física e Química A.  
Recuperado de [http://www.dqe.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens\\_Essenciais/10\\_fq\\_a.pdf](http://www.dqe.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/10_fq_a.pdf)
- Murday, J. (2009). Partnership for nanotechnology education. *NSF Report*. Recuperado de [http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/educ09\\_murdyworkshop.pdf](http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/educ09_murdyworkshop.pdf)
- Orgill, M., & Wood, S. (2014). Chemistry Contributions to Nanoscience and Nanotechnology Education: A Review of the Literature. *Journal of Nano Education*, 6, 83-108. <https://doi.org/10.1166/jne.2014.1065>
- Paiva, J. (2010). Atividades com os Pais no Computador (APC). *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 118, 57-60.  
Recuperado de <https://b-quimica.spq.pt/maazines/BSPQuimica/648/article/30001575>
- Paiva, J. C., Morais, C., & Moreira, L. (2017). Activities with Parents on the Computer: An Ecological Framework. *Educational Technology & Society*, 20(2), 1–14.
- Paiva, J., & Reis, E. (2012). Atividades com os Pais no Computador – Acerto de Equações Químicas. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 125, 79-84.  
Recuperado de <https://b-quimica.spq.pt/maazines/BSPQuimica/655/article/30001759>

- Palma-Oliveira, J. M., Gaspar de Carvalho, R., Luís, S., & Vieira, M. (2009). Knowing much while knowing nothing. Perception and Misperception about Nanomaterials. In I. Linkov, & J. Steevens, *Nanotechnology: Risks and Benefits* (pp. 437-462). Netherlands: Springer.
- Pampa-Quispe, N. B., & Torres-Acurio, J. (2023). Nanociencia y nanotecnología en la educación actual: una propuesta interdisciplinaria emergente poscovid-19. *MOMENTO*, (66), 90–109. <https://doi.org/10.15446/mo.n66.102031>
- Park J. E. (2019). Nanotechnology Course Designed for Non-Science Majors To Promote Critical Thinking and Integrative Learning Skills. *Journal of Chemical Education*, 96, 1278–1282. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00490>
- Ponte, C., & Simões, J. A. (2015). “Comportamentos online de crianças e jovens portugueses”. In G. L. Miranda (Org.) *Psicologia dos comportamentos online*. (pp. 51-80.). Lisboa, Portugal: Relógio d’ Água.
- Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 year. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 427- 445. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z>
- Roco, M. C., Hersam, M. C., Mirkin, C. A. (2011). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020 - retrospective and outlook. Berlin: Springer.
- Sahin, N., & Ekli, E. (2013). Nanotechnology awareness, opinions and risk perceptions among middle school students. *International Journal of Technology and Desing Education*, 23, 867–881. <https://doi.org/10.1007/s10798-013-9233-0>
- Sakhnini, S., & Blonder, R. (2015). Essential Concepts of Nanoscale Science and Technology for High School Students Based on a Delphi Study by the Expert Community. *International Journal of Science Education*, 37(11) 1699-1738. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035687>
- Sakhnini, S., & Blonder, R. (2016). Nanotechnology applications as a context for teaching the essential concepts of NST. *International Journal of Science Education*, 38(3), 521-538. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1152518>
- Schönborn, K. J., Höst, G. E., & Lundin Palmerius, K. E. (2015). Measuring understanding of nanoscience and nanotechnology: development and validation of the nano-knowledge instrument (NanoKI). *Chemical Education. Research and. Practice*, 16, 346-354. <https://doi.org/10.1039/C4RP00241E>
- Sebastian, V., & Gimenez, M. (2016). Teaching Nanoscience and thinking nano at the macroscale: Nanocapsules of wisdom. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 228, 489 – 495. 2<sup>nd</sup> International Conference on Higher Education Advances, HEAd’16, 21-23 Junho 2016, Valencia, España. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.075>
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. (2009). *The ‘big ideas’ of nanoscale science and Engineering*. Arlington, VA: National Science Teachers Association press. Recuperado de <https://static.nsta.org/pdfs/samples/PB241Xweb.pdf>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Yawson, R. M. (2012). An epistemological framework for nanoscience and nanotechnology literacy. *International Journal of Technology and Design Education*, 22, 297–310. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9145-1>

**Recebido em:** 28.06.2023

**Aceito em:** 14.04.2024