

## POTENCIALIDADES DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA PROBLEMATIZADA PARA DISCUTIR CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE

*Potentialities of Problematized Quantum Computing to Discuss Science, Technology and Society*

**Andiara Pereira dos Santos Cardoso** [andiara.fis@gmail.com]

**Paulo Celso Ferrari** [pferrari@ufg.br]

**Norton Gomes de Almeida** [nortonfis@gmail.com]

*Universidade Federal de Goiás/ Instituto de Física*

*Av. Esperança, s/n - Chácaras de Recreio Samambaia, Goiânia - GO, 74690-900*

*Recebido em: 30/11/2018*

*Aceito em: 13/07/2019*

### Resumo

Esse artigo trata de uma pesquisa inicial que visa investigar as potencialidades da computação quântica no Ensino Médio para discutir as complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Para esse intento, lançamos mão de uma sequência didática estruturada de acordo com os Três Momentos, baseada na filosofia educacional freireana, para problematizar o computador quântico. Essa sequência didática foi desenvolvida em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio em uma escola pública. Os dados foram obtidos por meio de questionários e uma gravação em vídeo, submetidos à análise de conteúdo. Com essa pesquisa inicial pudemos inferir que: i) a problematização do computador quântico pode auxiliar no entendimento de conceitos técnicos e científicos, fornecendo condições para participação pública; ii) pode gerar possibilidades de mitigar visões ingenuamente otimistas das inovações tecnocientíficas e iii) permite levar discussões que não se limitam aos impactos da pós-produção, reivindicando participação na definição da agenda de pesquisa.

**Palavras-chave:** Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), Computação Quântica, Três Momentos Pedagógicos.

### Abstract

This article deals with an initial research that investigates the potentialities of quantum computation in High School to discuss the complex relations between Science, Technology and Society (STS). For this purpose, we used a didactic sequence structured according to the Three Moments, based on the Freirean educational philosophy, to problematize the quantum computer. This didactic sequence was developed in a first year high school class in a public school. The data were obtained through questionnaires and a video recording, submitted to content analysis. With this initial research we could infer that: i) the problematization of the quantum computer can help in the understanding of technical and scientific concepts, providing conditions for public participation; ii) can generate possibilities for mitigating naively optimistic visions of techno-scientific innovations; and iii) allows discussions to be carried out that are not limited to the impacts of post-production, claiming participation in the definition of the research agenda.

**Keywords:** Science, Technology and Society (CTS), Quantum Computation, Three Pedagogical Moments.

## Introdução

Entre os equipamentos tecnológicos mais utilizados o computador tem grande destaque e é ferramenta indispensável na sociedade. Consideramos que seja de fundamental importância para o Ensino de Ciências trazer a discussão sobre essa tecnologia, bem como suas possibilidades futuras, como o computador quântico. Relegado ao mundo da ficção por parte dos pesquisadores da Computação Quântica (CA) por suas reais dificuldades de implementação, atualmente, um protótipo do computador quântico, um processador quântico real de 5 q-bits (bits quânticos) da IBM, já pode ser utilizado remotamente via internet por qualquer pessoa cadastrada. Esse processador quântico é atualmente usado em pesquisas de nível acadêmico (Santos, 2017), bem como em pesquisas sobre o uso pedagógico para estudantes de graduação e pós-graduação (Rabelo & Costa, 2018).

A Computação Quântica (CQ) é uma linha de pesquisa que alia a Ciência da Computação com a Mecânica Quântica (MQ). Se por um lado os trabalhos de Alan Turing e outros matemáticos deram grandes passos para a tecnologia do computador atual em termos de matemática pura, por outro a MQ desenvolvida no primeiro quarto do século XX revolucionou a maneira como era tratada e interpretada a natureza, especialmente no que se refere à escala microscópica (Nielsen & Chuang, 2005); a combinação entre Ciência da Computação e MQ ganha nova perspectiva quando, nos anos de 1970, os sistemas quânticos isolados começaram a ser controlados, como já preconizado por Feynman (Feynman, 1959)

A CQ promete vantagens quando comparadas com a computação clássica (Cabral, Lima, & Lula Jr., 2004), podendo provocar um grande salto na evolução científica e tecnológica. Isso porque, caso as limitações de sua implementação física sejam superadas, os algoritmos quânticos prometem uma redução exponencial no tempo de processamento de dados e execução de tarefas, tendo várias aplicabilidades para vida moderna. Por ser um tema contemporâneo, que possui controvérsias dentro da própria comunidade científica e ser objeto de investimento de diversos países, esse tema pode trazer em seu bojo elementos potenciais para discutir as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no Ensino Médio, podendo contribuir para superação do currículo estanque.

A sigla CTS é usada para designar um movimento social originado no final dos anos 60 e início dos anos 70, que criticava a aparente neutralidade da Ciência e da Tecnologia. Essa neutralidade tem se apoiado na concepção linear de desenvolvimento e progresso, segundo a qual quanto mais conhecimento científico, mais teríamos tecnologia, o que provocaria mais riqueza e, conseqüentemente, mais bem-estar social (González Garcia, López Cerezo, & Luján López, 1996). Esse modelo de desenvolvimento, por endossar a neutralidade da ciência, tem como base filosófica o positivismo científico.

O movimento CTS teve diversos desdobramentos, ramificando-se em diferentes concepções, provenientes do Hemisfério Norte, nas tradições europeia e norte-americana e no Pensamento Latino Americano em Ciência Tecnologia e Sociedade (PLACTS). A tradição europeia originou-se com o chamado “Programa Forte”, configurando-se em uma investigação eminentemente acadêmica. Já a tradição norte-americana centrou-se nas conseqüências sociais que o uso da ciência e da tecnologia proporcionam. Pinheiro (Pinheiro, 2005) observa que a tradição norte-americana tem caráter mais prático do que a europeia, recorrendo à reflexão ética, política e humana, vista nos movimentos de protesto social, incentivando uma democratização na tomada de decisões nas políticas científicas e tecnológicas. Na América Latina o movimento CTS ganha uma abordagem mais política reivindicando que a CT fosse direcionada para solução de problemas sociais locais, tendo uma agenda de pesquisa própria e planejada com participação democrática, se desvinculando das agendas de países desenvolvidos (Dagnino, 2002; Vaccarezza, 1998).

Esse movimento ganha raízes no campo educacional formal com o objetivo de promover a alfabetização científica e tecnológica de forma a capacitar a população para processos decisórios democráticos que envolva questões sobre CT (Acevedo, 2004; Bazzo & Pereira, 2008; Cerezo, 1998; Solomon, 1995). Esse ensino, considerado como enfoque CTS, lança mão de uma diversidade de abordagens que possam levar o alunado a uma autonomia, reflexões críticas, entre outras finalidades que possam contribuir com a formação cidadã, desmitificando concepções ingênuas sobre CT, compreendendo o trabalho de técnicos e cientistas, levando em conta aspectos éticos e sociais provenientes de implementações tecnocientíficas.

Diante de uma diversidade de abordagens e sentidos encontrados no âmbito do ensino de CTS (Strieder, 2012) utilizamos como ponto de partida um equipamento tecnológico: o computador. Essa escolha se deve em parte por se tratar de um tema que vai além da tecnologia amplamente utilizada pelas pessoas na vida prática, pois comporta a discussão do computador quântico, cuja materialização ainda não faz parte da sociedade em que estamos inseridos. Por outro lado, nossa escolha de partir de um equipamento tecnológico pode auxiliar a dar mais contexto e sentido às aulas, tendo a possibilidade de gerar novas problemáticas (Millar, 2003).

Obviamente há outros caminhos. Um bastante conhecido por seu respaldo científico seria partir um problema social, perpassar a tecnologia e entrar no núcleo científico, fazendo a volta pelo mesmo caminho até chegar ao social novamente com um entendimento mais complexo (Aikenhead, 1994; Andrade, Oliveira, Queiroz, & Mello, 2014; W. L. P. Santos & Mortimer, 2002). Para o caso dessa pesquisa esse caminho não seria viável, já que não há ainda uma problemática social visível sobre os computadores quânticos, o que faz leigos e céticos acreditarem que essa tecnologia esteja na faixa do imaginário ou no mundo da ficção científica (Haroche & Raimond, 1996). Importante destacar que nesses caminhos geralmente estão presentes atividades de pesquisa (Cachapuz, Praia, & Jorge, 2002; Ribeiro & Genovese, 2015), tal como foi utilizado no presente trabalho.

Objetivamos compreender se o tema do computador quântico tem potencialidades para trazer à tona elementos que auxiliem a discutir a complexa relação entre ciência, tecnologia e sociedade no Ensino Médio. Trata-se de uma investigação do tipo piloto que adota uma abordagem que parte de uma tecnologia difundida socialmente e se estende para pesquisas atuais que visam gerar inovações. Elaboramos uma sequência didática com estrutura baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (Delizoicov & Angotti, 1992) de forma a problematizar a temática. Esses momentos pedagógicos foram importantes para a pesquisa já que é fundamentada na filosofia freireana, que se alinha com os pressupostos do enfoque educacional em CTS, já que ambos reivindicam a autonomia do indivíduo, com vistas a romper silenciamentos e fomentar a participação democrática (Auler, 2002; Auler & Delizoicov, 2015; W. L. P. Santos & Mortimer, 2002).

A compreensão da CQ requer a introdução de conceitos da MQ e o desafio de introduzir conceitos de MQ no EM, assim como outros conceitos que compõem a Física Moderna e Contemporânea (FMC), tem mobilizado esforços de diversos pesquisadores (Greca & Moreira, 2001; Ostermann & Moreira, 2000; Pereira & Ostermann, 2009). O tratamento matemático tem sido apontado por professores como a principal dificuldade na introdução da MQ no EM, porém, esse argumento denuncia uma compreensão inadequada do tema (Monteiro, Nardi, & Bastos Filho, 2009). A MQ comporta importantes discussões epistemológicas presentes na ciência contemporânea (Bastos Filho, 2003) e, apesar de suas especificidades, pode-se abrir mão de reducionismos matemáticos. Nesse contexto, introduzimos os conceitos de superposição e interferência da MQ, bem como o problema da medida, que são os princípios básicos dessa nova forma conceber a tecnologia do computador.

Para tanto, desenvolvemos a sequência didática numa intervenção educacional com alunos do primeiro ano o Ensino Médio em uma escola pública, propondo a discussão sobre o futuro dos

computadores, abordando a temática da pesquisa em CQ. As conclusões da pesquisa apontam que essa temática comporta elementos de discussão de grande importância para o enfoque educacional em CTS.

### Caminho Teórico-Metodológico

A pesquisa envolveu vinte e oito (28) estudantes de primeiro ano do EM, com uma participação efetiva, em média, de vinte e quatro (24) estudantes por aula. Essa turma é de uma escola estadual comum da região, que tem suas especificidades contextuais e seus avanços inerentes, mas que, de maneira geral, carrega aspectos nacionalmente difundidos. Alguns desses aspectos comuns seriam: cadeiras individuais e enfileiradas tal como preconizado no século XIX (Arriada, Nogueira, & Vahl, 2012); quadro e giz com professor à frente da turma; os alunos silenciam suas contribuições, não participando da construção do próprio conhecimento; currículo extenso, massivo e descontextualizado; calendário frequentemente alterado em função de greves, etc.

Diante dessa realidade escolar, com vistas a compreender se a Computação Quântica no Ensino Médio tem potencial para discutir elementos do CTS, lançamos mão de uma estratégia didática dividida em Três Momentos Pedagógicos (3MP): *problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento* (Delizoicov, 2005; Delizoicov, Angotti, & Pernambuco, 2002; Delizoicov & Angotti, 1992; Muenchen & Delizoicov, 2012). Os 3MP foram propostos a partir de uma pesquisa desenvolvida em Guiné Bissau que objetivava a reconstrução curricular do ensino de ciências na região (Angotti, 1982; Delizoicov, 1982). Por ser essa didática baseada na filosofia e sociologia educacionais de Paulo Freire, consideramos que os três momentos poderiam auxiliar a extrair as potencialidades do tema a ser ensinado.

Optamos por uma metodologia na qual a qualidade da resposta do sujeito é o dado principal da pesquisa, sendo, portanto, uma pesquisa qualitativa (Bogdan & Biklen, 1994). Utilizamos três questionários para avaliações diagnósticas e a transcrição de uma gravação em vídeo como ferramenta de obtenção de dados. Optamos pela análise de conteúdo (Bardin, 2008) para a discussão dos resultados, organizando-os em categorias. A intervenção foi planejada por meio de uma sequência didática constituída de 6 (seis) aulas duplas, de 1,5 h (uma hora e meia), totalizando 9 h (nove horas). Um resumo do que foi realizado pode ser verificado no Quadro 1 a seguir.

**Quadro 1** - Organização da sequência didática no procedimento da pesquisa.

Momento	Atividades de ensino	Objetivos de pesquisa
Problematização inicial	Aula 1 - Apresentação das partes de um computador clássico, discussão sobre seu funcionamento e pesquisa sobre a história e o futuro dos computadores.	1º Questionário: Levantamento do perfil; 2º Questionário: Avaliação do resultado da problematização.
Organização do conhecimento	Aula 2 - Introdução aos conceitos de números binários, bits, portas lógicas, transistores, algoritmo clássico, significado do termo Mecânica Quântica, experimento da dupla fenda.	3º Questionário A: Avaliação do entendimento do experimento da dupla fenda e dos conceitos de Computação Quântica.
	Aula 3 - Revisão do experimento da dupla fenda, funcionamento da computação quântica: qbits, portas quânticas,	

	algoritmos quânticos, limites tecnológicos para a implementação do computador quântico.	
	Aula 4 - Revisão dos principais conceitos e formação de grupos para a construção de pôsteres.	
Aplicação do conhecimento	Aula 5 - Pesquisa na internet para a elaboração dos pôsteres e organização dos pares de grupos antagônicos para um debate sobre benefícios e malefícios dos computadores clássico e quântico e sobre a possibilidade ou impossibilidade de implementação do computador quântico.	3º Questionário B: Avaliação do entendimento dos conceitos da dupla fenda aplicados aos conceitos de Computação Quântica. Gravação em vídeo: Identificação do potencial para uma abordagem CTS.
	Aula 6 - Apresentação dos pôsteres como debate.	

Fonte: Elaboração própria.

Os detalhes de cada momento podem ser conferidos a seguir.

#### Primeiro momento: problematização inicial

O primeiro momento, chamado de Problematização Inicial, tem como objetivo primeiramente ouvir os alunos, na tentativa de compreender o que cada aluno traz de conhecimento sobre o tema em questão e concomitantemente provocar a necessidade de novos conhecimentos. A postura do professor nesse momento é de questionar, lançar dúvidas, podendo responder ou introduzir minimamente alguns conhecimentos de forma estratégica a fim de estimular novos questionamentos ou mesmo para direcionar ao que se pretende. O professor aqui deverá ouvir atento o conhecimento que os alunos trazem por meio das suas vivências, tanto culturais quanto construídas no próprio ambiente escolar, fomentando mais dúvidas e questionamentos.

Neste primeiro momento, caracterizado pela compreensão e apreensão da posição dos alunos frente ao assunto, é desejável que a postura do professor seja mais de questionar e lançar dúvidas do que de responder e fornecer explicações. (Delizoicov & Angotti, 2000, p. 54-55).

Como parte do primeiro momento fizemos um levantamento do perfil dos estudantes utilizando um questionário aberto com o fim de levantar o acesso dos estudantes ao computador, identificar as finalidades de sua utilização e avaliar o nível de compreensão de seu funcionamento. Note-se que, na perspectiva freireana, a temática abordada advém de um problema que a própria comunidade enfrenta (Gadotti, 1991). No nosso caso, dado o objetivo da pesquisa, levamos o tema aos alunos e precisamos investigar se essa temática faria parte das necessidades daquele grupo de estudantes. Como a investigação consiste em avaliar as potencialidades do tema computador quântico com vistas ao ensino CTS, entender se a tecnologia do computador estava no contexto daquele grupo de alunos era importante. Como tínhamos um tempo curto de intervenção, lançamos mão desse questionário, explicando para os alunos nossa pesquisa e perguntando se eles poderiam colaborar conosco.

Com o questionário inicial percebemos que dos 28 participantes, 19 possuíam computador em casa e 22 tinham acesso à internet, acessada em casa, em lan-houses ou na casa de amigos e parentes. Em relação às finalidades, os participantes que tinham acesso à internet a utilizavam para ver vídeos, participar de redes sociais e 13 de 22 estudantes disseram que a utilizam para trabalhos

escolares. Apesar do contingente que não possui o próprio computador, consideramos que essa tecnologia é acessível à maioria dos alunos da turma.

Sobre o funcionamento do computador, analisando perguntas diretivas sobre alguns de seus componentes, as respostas foram escassas. Apenas cinco estudantes souberam responder a quantidade de memória RAM que seus computadores possuíam; quatro estudantes responderam sobre a velocidade do processador de seus computadores, sendo que dois desses não sabiam a unidade de medida física para a velocidade do processador; apenas dois estudantes sabiam a diferença entre software e hardware. Em síntese, apesar de serem usuários, a maioria desconhecia várias características de seu funcionamento.

Para problematizarmos o computador atual, levamos uma CPU aberta para mostrar e apresentamos seus componentes. Nesse momento se instalou uma curiosidade visível. Quando focamos nas partes do computador, iniciamos a problematização de forma aberta, perguntas sobre: o que é um computador? O que ele faz? Para que ele serve? Podemos considerar o celular como um computador? O que mais seria considerado um computador, vídeo games, caixa eletrônico bancário?

Para esse nível de perguntas, as respostas dos alunos foram rápidas, ou seja, eles tinham respostas prontas, sabendo identificar o uso do computador para as mais diversas tarefas. Surgiram diversas respostas sobre utilidades do computador, mas a que ficou mais reforçada por eles é o uso para comunicação. Segundo eles, qualquer pessoa pode utilizar computadores, não sendo de difícil acesso, tanto ao nível econômico quanto ao manuseio.

Como as perguntas anteriores foram confortáveis para os alunos, formos para outro nível de questionamentos, tais como: existem computadores melhores que outros ou todos são iguais? Por que uns são mais caros e outros são mais baratos? O que há dentro dos computadores? Como eles funcionam?

Nesse ponto, a maior parte dos estudantes ficou em silêncio, sendo que alguns poucos começaram a se aventurar nas respostas. Surgiram temáticas sobre diferentes velocidades de processamento, com nossa ajuda nas respostas, chegando à placa mãe do computador. Falamos sobre os processadores e sobre a necessidade da memória de acesso randômico, em inglês: *Random Access Memory* (RAM). Essa memória é importante na execução de tarefas que determinamos, podendo executar variadas tarefas simultaneamente caso seja uma boa memória de curto prazo, ou seja, durante a execução da tarefa, mas ao finalizar essa memória é perdida. Fornecemos algumas respostas para incentivar mais perguntas dos alunos, mais entendimento entre eles. Perguntamos, por exemplo: mas e se quisermos armazenar fotos, documentos, trabalhos de escola e salvar jogos no computador de forma que estes dados sejam permanentes mesmo depois que desligamos o computador? Entramos aqui no componente que também está ligado à placa mãe, que é o disco rígido, Hard Disc (HD), com o qual os alunos voltaram a se mostrarem familiarizados, discutindo as diferentes capacidades de armazenamento. Perguntamos também sobre como a imagem que vemos na tela do computador é gerada, que no caso é pela placa de vídeo. Comentamos também a respeito das placas de expansão, que trazem mais funcionalidades para o computador como a placa de som e a placa de rede.

Nesse ponto percebemos que nem todos estavam familiarizados. Todavia, como tínhamos em mente a intenção de partir do computador clássico para chegar na discussão da computação quântica fornecemos a eles outro nível de perguntas, que precisariam de pesquisas para serem respondidas como, por exemplo: se os computadores de hoje, os considerados microcomputadores, tem os componentes discutidos até agora, quais eram os componentes do primeiro computador? Qual era o tamanho do primeiro computador? Quando o computador foi inventado? Quanto custava o primeiro computador?

Para que eles pudessem responder essas perguntas levamos os alunos ao laboratório de informática. No laboratório os alunos formaram grupos livremente, já que sentar individualmente era impossível devido ao pequeno contingente de computadores com funcionamento adequado. Os grupos tinham entre dois a quatro componentes, mas as discussões não ficavam isoladas nos grupos de origem. Mesmo com as perguntas já lançadas na problematização da sala de aula, pedimos a eles que formulassem questões sobre o que eles pesquisaram, o que configurou nosso segundo questionário. Foi com o foco nas perguntas elaboradas por eles que surgiu o entendimento que o primeiro computador era do tamanho de uma sala inteira e que a estrutura dos primeiros computadores era muito diferente da que temos atualmente. Um exemplo disso é a substituição das válvulas pelos transistores, o aumento da performance e a diminuição dos componentes dos computadores com o passar do tempo.

Importante frisar que a pesquisa desses estudantes foi orientada. Fornecemos a eles algumas palavras-chave (história do computador, primeiro computador e computador do futuro) com o intuito de direcionar a pesquisa a fontes específicas, embora deixássemos claro que poderiam utilizar outras. Dentre elas colocamos, intencionalmente, “computador do futuro”, com a qual eles chegaram ao computador quântico. Queríamos que eles elaborassem perguntas a respeito do que considerassem importante. Houve perguntas sobre o computador quântico que merecem ser destacadas aqui, tais como:

Já sabemos o nome dele que é quântico, mas como ele será, sua forma, sua agilidade? Será melhor do que agora? Qual é o nome do de hoje? (G3)

O computador do futuro, será que ele vai ser mais útil em vigilância de residências e de setores, bairros etc? (G1)

Será que o computador quântico vai ser caro? (G1)

Como será o primeiro computador do futuro? Qual será seu tamanho? (G4)

Nas perguntas do grupo G3 vemos uma preocupação sobre se existirá um real aumento na velocidade de processamento dos computadores, o que eles chamam de agilidade. Esse grupo parece perceber que contamos com computadores bastante eficientes na execução das nossas tarefas diárias e por isso questionam se será realmente melhor do que o que temos atualmente. Sobre a comparação entre a nomenclatura utilizada, no caso se o computador do futuro é qualificado de “quântico”, qual seria a qualidade do atual? Esse questionamento é uma oportunidade para adentrarmos no conhecimento científico, no caso, da própria física, no que tange ao que pode ser considerando quântico e o seu contrário, o que respondemos a eles, de antemão, que seria o clássico. Note-se que a resposta que demos não provocou estranheza, longe disso, percebemos um clima de curiosidade que estimulou a vontade de aprofundar no conhecimento para descobrirem as diferenças entre as qualidades do que é “clássico” e “quântico”.

Tal como o grupo G3, o grupo G1 traz o questionamento sobre o computador quântico para o contexto em que vivem, como o problema da segurança, que é preocupação nacional, bem como o custo que acompanha o acesso às inovações tecnológicas.

Em G4 vemos um questionamento que envolve suas pesquisas sobre os primeiros computadores construídos, mostrando que gerou uma comparação envolvendo seu tamanho. Esse questionamento pode ser traduzido como: Se o computador tem diminuído muito com o passar do tempo, quais são as perspectivas para o computador do futuro? Será também do tamanho de uma sala como foi o primeiro computador clássico?

Aproveitando o momento da problematização aprofundamos ainda mais os questionamentos para fazer com que eles percebessem que precisariam de um nível maior de conhecimentos, o que os prepararia para o segundo momento: Como construir um Computador Quântico? Quais as

dificuldades em se construir um Computador Quântico? Se, porventura tivermos a possibilidade de construir tal computador, quais as vantagens e problemas que teremos? Nesse ponto da problematização os recursos dos alunos se tornaram escassos. Tornou-se clara a necessidade de novos conhecimentos, o que nos remete para o segundo momento da sequência didática (Delizoicov & Angotti, 2000).

### Segundo momento: organização do conhecimento.

Enquanto no primeiro momento a postura do professor é questionar e com isso dar a palavra para os alunos, no segundo momento há uma maior participação do professor. Isso se deve porque o docente domina melhor aquela temática e, por meio de uma intencionalidade e postura educativa é capaz de organizar o conhecimento a ser compartilhado com os estudantes. Nas palavras de Delizoicov e Angotti (Delizoicov & Angotti, 2000, p. 55) “O conhecimento em Ciências Naturais necessário para a compreensão do tema e da problematização inicial será sistematicamente estudado sob orientação do professor. Serão desenvolvidas definições, conceitos e relações.”

Mesmo que as etapas do segundo momento estejam previamente planejadas pelo professor, os resultados do primeiro momento têm um forte impacto na organização de novos conceitos. Isso porque os caminhos metodológicos dependem dos conhecimentos manifestos pelos estudantes. Utilizamos para esse momento três aulas de 1,5h cada (Quadro 1).

Na segunda aula (primeira aula do segundo momento) discutimos sobre como se dá o processamento no computador clássico, sua linguagem e os elementos que a compõem: números binários, bits, portas lógicas básicas, transistor, chip e algoritmo. Tudo isso de maneira muito simples e rápida para comparar posteriormente com a computação quântica. O mecanismo de comparação para nós é importante, com vistas a discutir posteriormente as vantagens e desvantagens e as possibilidades e dificuldades de construir um computador pautado nas leis da física quântica.

Para adentrar no computador quântico precisamos discutir o problema do comportamento dual da matéria, para que eles pudessem entender as peculiaridades da superposição quântica, o que torna possível aumentar a velocidade de processamento dos computadores, bem como a principal dificuldade, que seria a sensibilidade da decoerência dos estados pela presença da temperatura ambiente. Para tanto, escolhemos o experimento da dupla fenda, que possibilita a discussão da maioria dos conceitos referidos e mostra a problemática da Física Quântica (Montenegro & Pessoa Jr., 2002; Müller & Wiesner, 2002).

Como recurso didático utilizamos a animação do Dr. Quantum (Arntz, Chasse, & Vicente, 2006) para ilustrar o experimento, resgatando o conceito de partícula por eles já estudado no início do ano e fazendo um contraste com as características de uma onda. O experimento foi explicado e algumas perguntas foram propostas para provocar a discussão, já que o diálogo deve ser cultivado ao longo dos três momentos (Delizoicov, 1982). Como percebemos uma grande dificuldade de expressão, pedimos aos alunos que escrevessem sobre o experimento da dupla fenda e recolhemos os textos. Consideramos essa redação como parte A do nosso terceiro questionário (Quadro 1).

Seria interessante que os estudantes compreendessem que quando se tenta medir por qual fenda o elétron passou, no experimento da dupla fenda, o padrão de interferência é destruído. Essa destruição da superposição faz com que existam dificuldades para a implementação do computador quântico.

O vídeo do Dr. Quantum provocou um problema de interpretação quando a animação mostra um elétron sendo "observado" com um olho humano, confundindo os conceitos de observação e medida. Cruz-Hastenreiter (Cruz-Hastenreiter, 2015), em sua tese de doutorado, estudou as analogias e metáforas como ferramenta didática no ensino de Física Moderna na Educação Básica.

Segundo esse autor existe certa contradição nesse intento, principalmente no que tange a comparação de conceitos não clássicos para a experiência sensível dos estudantes. Pelas suas pesquisas, a analogia é uma parte básica do pensamento humano e tem uso na ciência para elaborar novos conceitos. No ensino de ciências, as analogias podem potencializar a compreensão dos estudantes em um curto período para aquisição de novos conceitos, aproximando do domínio de conhecimentos de origem familiar. No nosso caso, utilizamos o conceito de bolinhas de gude como analogia do comportamento corpuscular dos elétrons o que foi utilizado no ensaio empírico do autor em questão. Todavia, há grandes possibilidades que esses conceitos auxiliares tragam em seu bojo concepções errôneas que não estariam presentes no novo conhecimento (Cruz-Hastenreiter, 2015).

Em nossa pesquisa os equívocos provocados pela substituição do termo “medir” por “observar”, pode levar a falsas interpretações sobre a natureza do observador ou do próprio elétron, e se devem às simplificações de linguagem provenientes da animação do Dr. Quantum. Por já estarmos atentos a essas limitações da animação promovemos uma segunda exposição do vídeo para debater o problema.

A partir de uma nova redação, considerada parte B do terceiro questionário, percebemos que as compreensões melhoraram bastante. Notamos também que esses conceitos foram amadurecidos durante as explicações sobre a computação quântica e o trabalho final discutido no terceiro momento da nossa intervenção.

Em seguida, já na quarta aula da sequência (Quadro 1), nos dirigimos ao laboratório de informática para introduzir conceitos de Computação Quântica por meio de uma apresentação em formato digital, quando conceitos da computação tal como a conhecemos hoje foram resgatados e comparados com os qbits quânticos, a velocidade de processamento devido a superposição de estados, as portas lógicas quânticas, entre outros conceitos que estão presentes no Quadro 1. Aqui o professor utilizou como recurso didático explicativo a exposição do conteúdo de computação quântica por meio de recurso visual dos conceitos porém, sempre procurando manter o diálogo com os estudantes, já que para Freire (Freire, 2001) “a dialogicidade não nega a validade de momentos explicativos, narrativos em que o professor expõe ou fala do objeto”.

Na última aula da organização do conhecimento retornamos à sala de informática e revisamos os conteúdos e discussões. Propusemos então a formação de grupos para uma pesquisa sobre temas pouco aprofundados na nossa intervenção que deveriam ser apresentados em forma de cartaz, juntamente com um debate a ser descrito no terceiro momento.

### Terceiro Momento: aplicação do conhecimento

O terceiro momento consiste na aplicação do conhecimento discutido em sala de aula. Como dividimos os estudantes em grupos para que houvesse um debate, a atividade se estendeu para além da sala de aula, já que os estudantes precisaram fazer pesquisas pertinentes para a discussão e construir argumentos para a defesa de seus posicionamentos. Dessa forma, foi a partir do exercício de síntese do que foi apreendido no decorrer das aulas e fora delas que avaliamos o potencial da computação quântica para discutir as relações entre CTS.

De acordo com Delizoicov e Angotti (Delizoicov & Angotti, 2000) é na aplicação do conhecimento que podemos observar se o estudante consegue aplicar o que aprendeu em diferentes contextos e situações, mesmo não estando ligado ao motivo inicial, abrindo campo para novos temas de estudo. Nas palavras dos autores:

“Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento” (Delizoicov & Angotti, 2000, p. 55).

A oportunidade para elaborar opiniões e criar questionamentos se tornam presentes na aplicação do conhecimento, desconstruindo noções ingênuas sobre determinado tema. Além disso:

“A meta pretendida com este momento é muito mais a de capacitar os alunos ao emprego dos conhecimentos, no intuito de formá-los para que articulem [...] a conceitualização científica com situações reais, do que simplesmente encontrar uma solução ao empregar algoritmos matemáticos que relacionam grandezas ou resolver qualquer outro problema típico dos livros textos.” (Delizoicov, et al., 2002, p. 202).

Dessa forma, o objetivo é avaliar o aluno de maneira a perceber se este consegue ampliar o conhecimento, sabendo explicar os conceitos científicos dentro de questões contextualizadas e de reflexão crítica sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Na penúltima aula da intervenção os estudantes realizaram pesquisas no laboratório de informática e propusemos um debate organizado em 2 pares de grupos (total de quatro grupos): no primeiro par, enquanto um grupo apresentou os benefícios, o outro contra argumentou com vistas a defender os malefícios da utilização computador (tanto clássico quanto quântico); no segundo par, um grupo defendeu a possibilidade, do ponto de vista otimista da materialização do computador quântico e outro grupo ficou com as dificuldades de implementação do computador quântico.

Como referido na última aula do segundo momento, os cartazes foram utilizados para subsidiar o debate que foi gravado em vídeo. Para a análise de conteúdo da gravação utilizamos apenas as falas dos participantes, por meio de uma transcrição literal.

## Resultados

Analisando os 3MP pudemos perceber que eles não se constituíram em momentos linearmente engessados. No terceiro momento, relativo à aplicação do conhecimento, vemos elementos da problematização inicial, que não foi esquecida pelos estudantes.

Dentre as falas a serem apresentadas avaliamos os conceitos desenvolvidos no segundo momento, no caso, na organização do conhecimento. O leitor perceberá que mesmo sendo o debate o final da nossa intervenção, surgem discussões que se mostram como novas problematizações. Dessas novas possibilidades emergem discussões potenciais no contexto das relações CTS, não plenamente desenvolvidas na nossa intervenção, mas que a computação quântica problematizada possibilita abordar.

### **i) A problematização do computador quântico pode auxiliar no entendimento de conceitos técnicos e científicos, fornecendo condições para participação pública.**

O objetivo aqui é avaliar se pode haver aprendizagem, não a mera reprodução mecânica de conceitos ensinados, mas sua utilização em contextos reais. Nesse sentido, na comparação entre dois equipamentos tecnológicos podemos perceber se houve o entendimento dos principais conceitos da computação quântica.

Como exemplo temos a transcrição abaixo, na qual o estudante procura explicar no computador quântico o aumento de sua velocidade devido a superposição dos qbits.

Teoricamente os computadores quânticos podem ser muito rápidos e o mais expandido, atualmente, estabelece com poucos Qbits... O principal ganho desses computadores é a possibilidade de resolver em tempo eficiente alguns problemas que na computação clássica levaria um tempo infalível. Como, por exemplo, a fatoração (...) de números primos e números naturais. E os computadores quânticos são diferentes dos computadores clássicos, (...) computadores básicos com transistores. Ainda que esses utilizem alguns efeitos da mecânica quântica. (A10)

O estudante A10 consegue comparar as duas tecnologias utilizando a linguagem técnica e científica, o que é importante para o fomento da alfabetização científica (Cachapuz, Gil-Perez, Carvalho, Praia, & Vilches, 2005; Fourez, 1995). Exemplifica o problema da fatoraçoão, que foi abordado quando falamos em algoritmos. O estudante percebe que mesmo o funcionamento do transistor utilizado para computadores clássicos pode ser explicado pela física moderna.

Encontramos, também, muitas falas que trazem críticas extraídas da própria vivência. Um exemplo é a fala abaixo:

Pelo que nós pesquisamos, os benefícios do computador quântico é que eles são mais rápidos em comparação com o computador clássico. Não sei se é a internet, mas a maioria das vezes é o computador. Ainda mais aqui o nosso da escola que é mais chocho. Vai mexer lá, ele é mais lento do que uma tartaruga. E o computador quântico é muito mais rápido, trabalha com poucos Qbits, que a gente achou lá (...). (A10)

Embora o problema na velocidade de processamento dos computadores da escola não seja um bom exemplo de computador clássico para ser comparado com o computador quântico, por serem obsoletos, o estudante demonstra reconhecer no seu cotidiano a necessidade do aumento de velocidade. Foi criada uma oportunidade para discutir os computadores que são disponibilizados pelo governo, bem como o sinal da internet, que deveriam ser os melhores para o bom aproveitamento das aulas dentro do laboratório de informática. Isso traria melhores condições de trabalho para os professores e possibilidades de aprendizagem para os estudantes. Entraria nessa discussão questões sobre se a Educação tem recebido a devida atenção dos políticos, bem como problemas como corrupção, divisão de verbas, etc.

Outro ponto a ser discutido nessa fala e se mostrou importante é a diferença entre uma crítica bem construída, obviamente para o nível de escolaridade da turma, e uma crítica superficial que nada agrega, como uma simples reclamação sobre os computadores disponíveis em sua unidade de ensino. Então uma questão importante para o ensino CTS que almeja formar um cidadão participativo, seria mostrar a diferença entre uma crítica com embasamentos teóricos de teorias aceitas e de fenômenos estudados, com a crítica por si só que não mobiliza ações concretas. Esses discursos não podem passar despercebidos pelo professor e se constituem oportunidade para fomentar valores que estejam alinhados a uma intencionalidade de participação pública.

Outras falas demonstram ser possível adquirir conhecimento sobre superposição quando aplicada à computação quântica, como nos exemplos que se seguem:

A velocidade do computador quântico é muito maior do que o computador clássico porque ele utiliza a interferência que é 0 e 1 ao mesmo tempo. (E19)

[...] o bit 0 ou 1 não pode ser ao mesmo tempo. [...] o conceito fundamental o qbit 0 ou 1 ou 0 e 1 ao mesmo tempo. [...] a velocidade do computador quântico é muito mais rápida que o clássico. (E3)

Os alunos conseguem identificar a superposição nos q-bits, os bits quânticos, comparando-os com os bits clássicos. O efeito que eles perceberam se resume à velocidade de processamento. O estudante E19 tenta exemplificar o conceito utilizando a superposição de qbits. O estudante E3 diferencia os bits quânticos dos bits clássicos e percebe que é devido a esta diferença que a performance do Computador Quântico seja maior do que a do Computador Clássico.

Aqui podemos afirmar que a computação quântica quando comparada à computação clássica torna inteligível certos conceitos da Física Quântica. O mais importante é perceber que um conhecimento, como a superposição de estados, quando associado a um problema real como, no caso, a possibilidade ou não da existência do computador quântico, se torna uma ferramenta de participação pública, pois se incorpora ao discurso que possibilita a formação de opinião crítica.

**ii) A computação quântica problematizada gera possibilidades de mitigar visões ingenuamente otimistas das inovações tecnocientíficas.**

Durante o debate no terceiro momento da intervenção surgiram mais discussões sobre os malefícios do que sobre os benefícios do computador tal como o conhecemos. Dentre os malefícios foram mencionados problemas relativos a saúde dos olhos e postural; uso para pornografia e pedofilia; futilidades (sites de relacionamentos, sites pornográficos); violências (atentados terroristas, difamação, pedofilia, falsidade ideológica, quebra de senhas de bancárias e compras ilícitas); distância entre familiares que residem em um mesmo ambiente causados pelo vício dos membros da família; propagação de conhecimentos científicos falsos, como pode-se ver nas seguintes transcrições:

Bom, um dos principais malefícios é que danificam a saúde, a visão. A postura no computador, você pegar... Você tem que ficar em uma postura correta, porque senão fica com dor nas costas, na mão. Até porque o tempo que você fica no computador. Também tem um problema que está sendo muito usado, o computador sendo usado para pornografia, pornografia. Gente da escola estava organizando briga pela internet. Fala...(A1)

É ruim para os jovens que só pensam em entrar em *sites* de relacionamentos, que eles [trecho inaudível]. [trecho inaudível] que só quer saber disso. [trecho inaudível]. (A4)

Entre os problemas de saúde, está bico de papagaio [trecho inaudível], também tem labirintite. E os especialistas [trecho inaudível]. O computador também afasta as famílias. É uma máquina que serve também para atentados terroristas, difamação. E assim vai... (A27)

Tem pessoas que ficam muito tempo no computador, acaba se desligando de tudo. (A20)

Atrapalha o relacionamento com a família, porque o adolescente procura mais ficar no computador do que com a família (A1)

Pedofilia (A27).

outra pessoa fazer um *site*, em uma comunidade de relacionamento se passando por você. E ele fala mal das outras pessoas e as pessoas pensam que é você que está falando. Perfil falso. (A24)

Tem os *hackers* também, que ficam entrando. Não, mas eu não estou falando daqueles *hackers* de pequeno porte, barato, algo como MSN. Assim, aqueles hackers perigosos, senha de bancos haqueadas...(A1)

(...) E sem falar dos conteúdos mentirosos que você pode encontrar na internet. (...) uma vez eu fui fazer um trabalho sobre D. Pedro I na internet, da Independência do Brasil. Eu procurei na Wikipédia, que D. Pedro I, quando foi gritar a independência, caiu do cavalo. (A22)

Apenas um aluno discorreu sobre conteúdos positivos na utilização do computador, como pesquisas escolares e comunicação: “Facilita, sei lá, a gente precisa dele para fazer trabalho de escola, para se comunicar com as pessoas, sei lá (A16)”.

Todas essas questões são muito pertinentes, porque adentram ao problema dos valores de uma sociedade ou mesmo do ser humano e sua utilização do instrumento tecnológico. Seria interessante, nesse ponto, que houvesse contribuições de professores de filosofia e sociologia que adentrassem em temáticas em conjunto com o professor de ciências (Roso & Auler, 2016).

Obviamente já estamos envolvidos por instrumentos tecnológicos e essas inovações nos transformaram. Novas formas de comunicação foram se tornando obsoletas embora ainda resistam, sendo necessárias em alguns casos, como o uso de cartas para se comunicar, por exemplo. Contudo, valores éticos e sociais tem estado aquém do que gostaríamos. É necessário fomentar discussões sobre cidadania e bem-estar efetivo para a maioria, de forma que valores humanos possam estar à

frente de inovações tecnológicas ou ao menos no mesmo ritmo. Essas discussões permitem que nos distancieemos um pouco do mundo e que olhemos nossa prática diária, avançando em questões que possam modificar esse quadro.

A discussão sobre os impactos do computador na sociedade também levou ao problema do mercado como, por exemplo: “[...] sem falar que você tem que ficar mudando de computador sempre, o windows que tem que trocar a cada dois anos...(E1)”.

Essa fala fornece elementos para discutir impactos socioeconômicos e a diferenciação de novas tecnologias com inovações. Nem sempre em inovações há tecnologias novas, muitas vezes mudanças de performance ou um diferente *layout* impulsionam a novos interesses do mercado, próprio de empresas que visam novas possibilidades de lucros.

Se, por um lado, com o computador atual vimos a maioria detectar problemas negativos em detrimento dos aspectos positivos, por outro, sobre o computador quântico só tivemos aspectos positivos.

Professora, o computador quântico é campeão. (A28)

Maior rapidez, maior desenvolvimento. (A25)

Eu acho que se for comparar é ainda mais. (A12)

Não tem nem como ter alguma coisa contra, professora, porque todo mundo prefere o computador quântico. (A10)

Mesmo com o computador lerdo, travando, eu já fico trancado no quarto, no computador. Quando tiver a velocidade assim, aí... (A22)

Só tem um problema, professora: não ter ele em casa. (A28)

Eu acho que não, eu acho que vai ser igual um iPad. Mais. Se o iPad já é isso tudo, imagina! (A22)

As tarefas que achamos um pesadelo fazermos no computador clássico será um prazer fazer no computador quântico como por exemplo baixar um programa no clássico demora horas só no quântico é questão de minutos. (A1)

Note que os excertos acima sobre o computador quântico permitem trazer à tona concepções predominantemente otimistas acerca de inovações tecnocientíficas. Isso pode ser indício de uma imagem distorcida da ciência que advém da concepção de desenvolvimento linear de progresso (González Garcia, et al., 1996).

Esse modelo de desenvolvimento entende que quanto mais ciência, mais tecnologia será produzida e novos aparatos tecnológicos produzem desenvolvimento que, por conseguinte, promovem bem-estar para população (Bazzo, Linsingen, & Pereira, 2003). De acordo com os autores pesquisados por Auler (2002), essa forma de entender o progresso de forma linear está enraizado na população como corpo de conhecimento próprio do Ocidente, gerando diversos mitos acerca das relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Ao se depararem com a nova tecnologia, parece que houve um desprezo do computador atual e uma forte aderência para o computador do futuro. Os estudantes chegam até a tratar o computador quântico como se fosse um aparato lançado recentemente ao mercado. Esse otimismo ingênuo pode gerar a crença de que todo aparato tecnológico inovador gera bem-estar. A visão de que uma inovação é sempre melhor do que a anterior está embasada no modelo linear de desenvolvimento, endossando o determinismo tecnológico (Auler, 2002). Essas crenças podem não emergir caso o ensino de física tanto moderna quanto clássica fique apenas no campo conceitual, como na perspectiva de ensino do tipo bancário a que se refere Freire (Freire, 2005).

Dessa forma, a computação quântica problematizada fornece condições de evidenciar crenças, mitos e visões que distorcem a realidade subjacente e que precisam ser superadas. Os estudantes não deveriam sair da educação básica com esses pensamentos sob pena de reforço do *status quo* em que decisões democráticas sobre CT são, na maioria das vezes, impossibilitadas pela cultura do silêncio.

Esse pode ser um bom momento para o professor retomar a problematização para desconstruir percepções ingênuas da realidade, ou imagens distorcidas sobre CT. Essas imagens podem ser desfeitas mostrando a complexidade das relações CTS, lançando mão de posicionamentos epistemológicos do professor (Cardoso, 2017), juntamente com problemas socioeconômicos já emergidos nas falas dos alunos.

**iii) O ensino da computação quântica problematizada pode levar discussões que não se limitam aos impactos da pós-produção, reivindicando participação na definição da agenda de pesquisa**

Entender os impactos provenientes da CT é uma necessidade para a formação para a cidadania. Contudo, pesquisas atuais mostram evidências de que focar apenas nos impactos sobre a Ciência e a Tecnologia na Sociedade não é o suficiente pois pode, inclusive, acabar reafirmando a concepção de desenvolvimento linear comprometendo a necessidade de participação pública (Rosa, 2014; Rosa & Auler, 2016). Destarte, a participação pós-produção pode endossar a concepção de que a ciência e a tecnologia são neutras e à população cabe apenas escolher entre o bom ou o mal-uso de implementações tecnocientíficas. Isso reflete passividade da sociedade, alimentando ainda mais a “cultura do silêncio”.

Em nossa intervenção, na parte do debate sobre as possibilidades ou não da materialização do computador quântico aparece uma importante discussão que possibilita explorar a preocupação acima. Devido as pesquisas realizadas pelos alunos foi possível levantar a controvérsia sobre o que se diz ser um computador quântico e se são realmente materializáveis as vantagens da física quântica:

- Que em 2007 surgiu o computador quântico, não foi? (A10)
- Foi o projeto. (A1)
- Foi o computador quântico, mas foi no Canadá. Uma empresa canadense, chamada D-Wave um computador quântico funcional, chamado Órion. É o chip de dezesseis Qbits. (A10)
- O computador quântico existe desde 2007, quando um pesquisador do Canadá o inventou, com 16 Qbits. (A7)
- Já, desde 2007. Ele ia chegar, ela (a empresa D-Wave) queria também que chegasse, em 2007, mais de quatrocentos e tantos Qbits. É isso, não é? É. (A7)
- O protótipo de chip quântico tem 16 Qbits, mas promete chegar aos 52 Qbits no final de 2007. Depois a 512 Qbits e atingir os 1029 Qbits até o final de 2008. (A10)
- Não, professora, tem um negócio aí... A15 e A7, o computador quântico não existe ainda não, está sendo estudado. (A1)
- Mais para frente pode ser que possa fazer, mas agora não vai existir o computador, por causa da tecnologia e por causa dos avanços também. Professora, aqui no Brasil, não existe...(A15)
- Já mostraram, professora, que é possível. (A7)
- Professora, se estiver estudando os Qbits, o tal, só vai velocidade, ele vai fazer a mesma [...] que o computador, não faz? (A10)

Os estudantes A7 e A10 apresentam inicialmente a informação da existência do computador quântico chamado Orion. Trata-se de um protótipo de computador quântico, no caso um processador supercondutor de 16-Qbits, apresentado em 2007 pela empresa canadense D-Wave. Essa empresa foi a primeira companhia a vender computadores quânticos adiabáticos, que demonstrou acelerar algoritmos clássicos, em especial conseguiu soluções para procura de moléculas semelhantes de um determinado medicamento em um banco de dados, além da resolução do jogo Sudoku, que também foi mencionado pelos alunos na discussão.

Antes da própria apresentação do computador quântico Orion, Haroche e Raimond (Haroche & Raimond, 1996) com seu artigo “Computação Quântica: Sonho ou pesadelo?” já mostravam dificuldades de implementação da computação quântica, principalmente com respeito a criptografia, devido a decoerência quântica, que, por meio da temperatura e problemas com ruídos, fazia com que a superposição dos estados se perdesse. No Orion, por exemplo, os qbits são feitos por condutores de nióbio, resfriados a 20 milikelvin acima do zero absoluto para mantê-los no seu estado de mais baixa energia

Após a D-Wave apresentar o Orion para a comunidade científica, alguns pesquisadores ficaram verdadeiramente céticos sobre as reais vantagens desse computador quântico (Dam, 2007). Wim Van Dam (Dam, 2007) questiona se a tolerância ao ruído do computador Orion não faria com que as vantagens quânticas se perdessem, fazendo com que o computador clássico ainda estivesse em vantagem devido aos seus custos. Segundo esse autor, como todo computador clássico, os computadores quânticos também precisam ser capazes de lidar com as ocorrências de erros. Se o dispositivo for “muito barulhento” ele não seria tão eficiente quanto um lep-top padrão, tal como o estudante A10 quis mostrar com a frase: “Professora, estive estudando os Qbits (...), ele vai fazer a mesma [coisa] que o computador faz”.

Scott Aaronson, da Universidade do Texas, foi um dos mais massivos críticos do Orion e foi convidado pela D-Wave, em 2012, para conhecer a sede da D-Wave System em Burnaby em Vancouver. Nas próprias palavras de Aaronson (Aaronson, 2012) “Nos realmente caminhávamos dentro de gigantescos cubos pretos (...) As máquinas são tão grandes, em parte devido a necessidade de refrigeração e em parte para permitir que engenheiros entrem e consertem as coisas” (tradução nossa). Os novos dados apresentados pela D-Wave é que a empresa teria uma máquina que funcionava a 128 qbits, produzindo soluções aproximadas para problemas de minimizar a energia usando spins com interações entre pares (Boixo et al., 2014). Boixo, et al (Boixo, et al., 2014) apresentam resultados dos testes dos computadores da D-Wave One de 108 qbits que se distanciam das correlações clássicas ou da dinâmica clássica de spins e se aproxima da simulação quântica, quando encontra flutuações de energia mais baixas, onde a temperatura é diminuída lentamente sendo uma solução para o problema de otimização.

Após o lançamento da D-Wave One, que funcionaria com 128 Qbits, a Google o comprou, e em 2013 tanto a Google quanto a NASA, em parceria com a Associação de Pesquisa Espacial Universitária, lançam um laboratório de inteligência artificial quântica baseada no computador D-Wave Two de 512 qbits, conforme o aluno A10 havia pesquisado.

A pergunta que mais incomodava Aaronson seria por que ao invés de adicionar mais qbits a D-Wave não foca seus esforços para demonstrar o emaranhamento de um único qbit ou alguma outra evidência que alegue um comportamento verdadeiramente quântico? Segundo Aaronson (Aaronson, 2012), o pesquisador da D-Wave que o acompanhava, Mohammad Amin disse-lhe que aconselhou a empresa a publicar seus trabalhos nessa perspectiva, o que foi objetado pela pressão de captação de recursos que sempre estava voltado para adicionar cada vez mais qbits, bem como anúncios mais dramáticos sobre a evolução da computação quântica a nível experimental.

Ainda em 2014, pesquisadores da D-Wave em parceria pesquisadores de diversas universidades construíram uma série de processadores que utilizam qbits com redes de spins que

interagem, demonstrando a coerência quântica do sistema com oito qbits, por meio da medida de energia feita por espectroscopia de tunelamento. Foi demonstrado que o emaranhamento persiste mesmo quando alcançam o equilíbrio térmico com o ambiente. Finalizam enfatizando que essas pesquisas constituem um sinal de que o processo verificado pode ser viável para construção de computadores quânticos em larga escala (Lanting et al., 2014).

Contudo, a D-Wave continuou aumentando o número de qbits, não se preocupando em um primeiro momento com a velocidade de processamento. Em 2015 lançou o D-Wave 2X, que é um computador quântico de mais de 1000 qbits, em que metade deles ficam desativados. Já em 2017 lançou o D-Wave 2000Q e o Qbsolv, que é um software de código aberto que resolve problemas específicos tanto em processadores quânticos da própria empresa como em computadores clássicos.

Nas experiências em andamento, a Nasa, o Google e a Lockheed usam uma máquina quântica da canadense D-Wave (que não está exatamente no Quantum Valley, mas em Vancouver), a primeira empresa a comercializar um equipamento desse tipo e com grandes proporções. A engenhoca fabricada tem 3 metros de altura e, dentro dela, há um equipamento cilíndrico que contém um chip de nióbio resfriado a 273 graus negativos (isso mesmo, negativos!). Mais gelado do que os 272 graus negativos da Nebulosa do Bumerangue, uma espécie de estrela em decomposição, localizada a 5 mil anos-luz da Terra, tida como o lugar mais frio do universo. (Fraga, 2016).

Todas essas dificuldades fizeram com que a aluna A1 acreditasse que realmente não se tratava de um computador e sim de projetos, que ainda estariam sendo estudados, o que sugere ter havido compreensão das dificuldades de implementação do computador. O que mais se aproxima, atualmente, de um computador quântico seria o computador que está disponível para qualquer pesquisador ou professor utilizar pela web, o já citado computador quântico da IBM, o IBM Q Network <sup>1</sup>. Mais de 60 mil usuários realizam experiências quânticas por meio da IBM Q Experience, já que são os primeiros computadores quânticos do mundo disponíveis na web (oferecem prêmios para professores, palestrantes e estudantes que usam o computador quântico para aprendizagem e para pesquisa)

A IBMA é uma comunidade que envolve empresas que atuam a nível mundial, bem como instituições acadêmicas e laboratórios, tendo como objetivo a concretização do computador quântico. De acordo com as informações disponíveis no site oficial da IBM Q, suas parceiras exploram potenciais aplicações da computação quântica em suas indústrias, por exemplo: para entender como o quantum poderia ser utilizado para a melhora dos transportes; potenciais de aplicação da computação quântica para o mercado de finanças, na avaliação de estratégias de negociação e análise de riscos; criação de centros regionais com vistas a aumentar o acesso ao sistema quântico e os conhecimentos que dele advém.

A afirmação do estudante A15, “(...) Professora, aqui no Brasil, não existe (A15)” pode se tratar de uma informação correta de que realmente não há no país protótipos de computadores quânticos ou pode denunciar uma baixa estima, ou uma crença de que o em um país como nosso não poderia estar entre os produtores de tecnologias de ponta, do tipo High Tec (Cardoso, 2017; Lacey, 2010, 2012). Para compreensão desse dado, vejamos uma breve comparação de investimentos nesse setor.

No Canadá, em 15 anos, foi investido 1 bilhão de dólares, além da informação de que o primeiro ministro desse país anunciou que o governo investirá mais 37 milhões (Fraga, 2016). A União Europeia lançou um programa de investimento de 1 bilhão a partir de 2018, objetivando estar a frente da “segunda revolução quântica” (Fraga, 2016). No Canadá, Estados Unidos, na Ásia (China, Japão, Coreia do Sul), na Europa e Austrália, não somente há incentivos do governo como

<sup>1</sup> Ver em [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=82&v=LDVH4R0GRB0](https://www.youtube.com/watch?time_continue=82&v=LDVH4R0GRB0)

diversas empresas<sup>2</sup> e startups<sup>3</sup> investem na computação e informação quântica (Carvalho & Augusto, 2017).

A maioria dos pesquisadores brasileiros que trabalham com a computação quântica fazem parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Informação Quântica, o INCT-IQ<sup>4</sup>, visando o desenvolvimento de pesquisas básicas na área. Esse grupo recebeu do governo<sup>5</sup>, o valor de R\$ 6.416.400 entre de 2009 e 2017, o que comparado a União Europeia e Canadá chega a ser incipiente. No Brasil, não há nenhuma empresa ou startup investindo em pesquisa ou inovações na área de computação e informação quântica, ficando restritas apenas a centros universitários distribuídos no país (Carvalho & Augusto, 2017).

Ainda que a afirmação do estudante A15 tenha fundamento real, o estudo da computação quântica nos dá a oportunidade de levantar as seguintes questões: É importante para o país, no contexto atual, investir massivamente em computação quântica? Deveria ser a computação quântica uma prioridade já que tem sido objeto de investimento de tantos países desenvolvidos? Estará o Brasil prejudicado no contexto mundial caso se dedique a outras prioridades? Está nas mãos de quem decidir em quais pesquisas o país deve investir?

Observa-se que a partir de uma controvérsia da comunidade científica trazida para a sala de aula pela pesquisa inicial dos alunos surgiu a oportunidade de questionar quem somos nós enquanto brasileiros e para onde deveriam ou não ser direcionados nossos esforços em termos de investimentos em pesquisas tecnocientíficas. Essa forma de pensar vai ao encontro do Pensamento Latino Americano em CTS (PLACTS).

Um das reivindicações do PLACTS é que a população deve participar em processos decisórios para que problemas urgentes da região Latina Americana possam ser objeto de pesquisas tecnocientíficas, ao invés de seguir a agenda de países desenvolvidos que não tem o mesmo contexto social que o nosso. Dessa forma, a participação pública passaria do final da equação para o seu início, sendo uma forma de reivindicar melhorias para a comunidade em questão e fomentar a cultura participativa.

O estudo da computação quântica tornou possível aos estudantes perceberem, mesmo em pouco tempo de intervenção, que há controvérsias dentro da própria comunidade científica. A partir disso, o professor pode direcionar a discussão para que os estudantes reflitam se um computador quântico, tão desejado no início, deveria ser nosso maior foco. Poderiam discutir e re-problematizar entre os alunos, na própria região, quais seriam os problemas urgentes que deveriam vir a ser objeto de estudo, não somente dos cientistas naturais e sociais, mas também da população. Consideramos, portanto, que a computação quântica pode contribuir para fomentar discussões que promovam uma reflexão sobre a participação pública na construção de uma agenda de pesquisa que seja condizente com os problemas que afetam diretamente a comunidade envolvida.

## Considerações Finais

Percebemos que o ensino da CQ, sob a ótica da Educação Dialógico-problematizadora, comporta alguns elementos potenciais para discutir as relações entre Ciência, Tecnologia e

<sup>2</sup> Ver a relação de empresas em: <https://universosquanticos.wordpress.com/category/empresas-quanticas/>

<sup>3</sup> Ver a relação de Startups em: <https://universosquanticos.wordpress.com/category/startups-de-computacao-quantica/>

<sup>4</sup> Ver em <https://sites.ifi.unicamp.br/inctiq/pesquisa/>

<sup>5</sup> Ver em <http://www.portaltransparencia.gov.br/busca?termo=INCT-IQ>  
<http://www.fapesp.br/chamadas/inct2008.pdf>

Sociedade. Existe um flagrante interesse sobre questões científicas e tecnológicas que envolvem os computadores e a possibilidade de desenvolvimento do computador quântico provoca questionamentos ainda mais críticos no que diz respeito à utilização dessa tecnologia. Organizando os dados com o auxílio da análise de conteúdo e com o aporte teórico escolhido consideramos que:

**i) A problematização do computador quântico pode auxiliar no entendimento de conceitos técnicos e científicos, fornecendo condições para participação pública.**

O ensino da computação quântica problematizado fornece condições para que, com poucas aulas juntamente com a pesquisa direcionada, seja possível haver apropriação dos conceitos técnicos e científicos a partir de suas aplicações em novas tecnologias. Essa apropriação possibilitará que a sociedade tenha condições de compreender assuntos tecnocientíficos e possa reivindicar seus direitos em processos decisórios sobre CT.

**ii) A computação quântica problematizada gera possibilidades de mitigar visões ingenuamente otimistas das inovações tecnocientíficas.**

Além de provocar reflexões críticas a respeito da utilização atual do computador o ensino problematizado da computação quântica pode relevar concepções distorcidas da ciência e da tecnologia advindas do modelo linear de desenvolvimento. A promessa de um aumento vertiginoso na velocidade de processamento provoca uma confiança ingênua nas relações entre ciência, tecnologia e sociedade que pode servir de base para reflexões mais amplas sobre essas relações.

**iii) O ensino da computação quântica problematizada pode levar discussões que não se limitam aos impactos da pós-produção, reivindicando participação na definição da agenda de pesquisa.**

A computação quântica problematizada não se limita aos impactos da tecnologia do computador. Os estudantes foram capazes de trazer controvérsias importantes da comunidade científica, mostrando que outras problematizações lhe são pertinentes, especialmente sobre a validade ou não da pesquisa quando há controvérsia sobre suas reais possibilidades de aplicação. Trata-se de uma oportunidade para incentivar a construção de posturas decisórias com respeito a assuntos tecnocientíficos, não somente em discussões limitadas ao pós-produção do conhecimento, inovações ou novas tecnologias. Se limitar a essa prática seria endossar o modelo linear de progresso em que a população está no final da equação (Rosa & Auler, 2016); e sim, discutir se é pertinente ou não, para um contexto específico, investimentos em determinadas pesquisas tecnocientíficas em detrimento de outras. A intensão aqui é fomentar uma cultura de participação que esteja apta a direcionar a agenda de pesquisa para que resolva problemas prioritários do contexto considerado (Cardoso, 2017; Lacey, 2010).

Uma questão a ser pensada nesse trabalho foi a ausência de uma investigação temática com os estudantes. Consideramos que a investigação temática, que seria para Freire o início do diálogo, é de suma importância para superação do currículo fragmentado atualmente. Contudo, para alunos que nunca participaram de trabalhos que envolvam controvérsias ou mesmo pesquisa orientada que enfatize a autonomia do sujeito, a investigação temática pode ser dificultada. Com essa pesquisa vimos que novas temáticas surgiram a partir do tema sobre o computador que são de interesse para eles, o que auxilia o professor a estabelecer ciclos de investigação que contribuía para o engajamento dos estudantes em problemas sociais que envolvam a tecnociência.

## Referências

- Aaronson, S. (2012). My visit to D-Wave: Beyond the roast-beef sandwich, *Shtell-Optimized*.
- Acevedo, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la Enseñanza de las Ciências: Educación Científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciências*, 1(1), 3-16.

- Aikenhead, G. (1994). What is STS Science Teaching? In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS education: international perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.
- Andrade, S. A., Oliveira, R. D. V. L., Queiroz, G. R. P. C., & Mello, W. Z. (2014). A abordagem CTS-Arte nos estudos das estações de tratamento de esgoto: uma prática no ensino fundamental. *Revista Práxis*, VI(11), 65-78.
- Angotti, J. A. P. (1982). *Solução alternativa para a formação de professores de Ciências - Um projeto educacional desenvolvido na Guiné Bissau*. Unpublished Dissertação, USP, São Paulo.
- Arntz, W., Chasse, B., & Vicente, M. (Writer). (2006). *What the Bleep!?: Down the Rabbit Hole*. Estados Unidos: Playarte Pictures.
- Arriada, E., Nogueira, G. M., & Vahl, M. M. (2012). A sala de aula no século XIX: disciplina, controle, organização. *Conjectura*, 17(2), 37-54.
- Auler, D. (2002). *Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no Contexto da Formação de Professores de Ciências*. Unpublished Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Auler, D., & Delizoicov, D. (2015). Investigação de temas CTS no contexto do pensamento latino-americano. *Linhas Críticas*, 21(45), 275-296.
- Bardin, L. (2008). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Bastos Filho, J. B. (2003). Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), 125-147.
- Bazzo, W., Linsingen, I., & Pereira, L., . (2003). *Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)*. Madri, Espanha: Cadernos de Ibero-América, Organização dos Estados Ibero-americanos.
- Bazzo, W., & Pereira, L. (2008). O que é CTS, afinal, na Educação Tecnológica? *Revista Tecnologia e Cultura*, 10(13), 46-56.
- Bogdan, R., & Biklen, S. (1994). *Investigação Qualitativa em Educação*. Porto, Portugal: Porto Editora.
- Boixo, S., Ronnow, T. F., Isakov, S. V., Wang, Z., Wecker, D., Lidar, D. A., et al. (2014). Evidence for quantum annealing with more than one hundred qubits. *Nature Physics*, 10, 218-224.
- Cabral, G. E. M., Lima, A. F., & Lula Jr., B. (2004). Interpretando o algoritmo de Deutsch no interferômetro de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26(2), 109-116.
- Cachapuz, A., Gil-Perez, D., Carvalho, A. M. P., Praia, J., & Vilches, A. (2005). *A necessária Renovação do Ensino de Ciências*. São Paulo: Cortez.
- Cachapuz, A., Praia, J., & Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência, Ensino de Ciência*. Lisboa: Ministério da Educação.
- Cardoso, A. P. S. (2017). *Contribuições da epistemologia de Hugh Lacey para a Educação CTS: o contexto da Nanotecnologia*. Unpublished Tese, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru.
- Carvalho, F. K., & Augusto, F. (2017). O panorama brasileiro na computação quântica, *Universos Quânticos* (Vol. 2018).

- Cerezo, J. A. L. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación*(18), 41- 68.
- Cruz-Hastenreiter, R. S. (2015). *Das palavras aos quanta: Analogia como elemento do pensamento e ferramenta didática em aulas de física quântica na educação básica*. Unpublished Tese, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Dagnino, R. (2002). Enfoques sobre a relação Ciência, Tecnologia e Sociedade: Neutralidade e Determinismo. In Sala de Lectura CTS+I de la OEI (Ed.), *Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura*.
- Dam, W. V. (2007). Quantum computing: In the ‘death zone’? *Nature Physics*, 3(4), 220–221.
- Delizoicov, D. (1982). *Concepção problematizadora para o ensino de ciências na educação formal*. Unpublished Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Delizoicov, D. (2005). Problemas e Problematizações. In M. Pietrocola (Ed.), *Ensino de Física* (pp. 125-150). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Delizoicov, D., Angotti, J. A., & Pernambuco, M. M. C. A. (2002). *Ensino de Ciências*. São Paulo: Cortez.
- Delizoicov, D., & Angotti, J. A. P. (1992). *Física*. São Paulo: Cortez.
- Delizoicov, D., & Angotti, J. A. P. (2000). *Metodologia do Ensino de Ciências*. São Paulo: Cortez.
- Feynman, R. (1959). There’s Plenty of Room at the Bottom, *Talk given at the annual meeting of the American Physical Society at Caltech*.
- Fourez, G. (1995). *A Construção das Ciências*. São Paulo: Ed. UNESP.
- Fraga, N. (2016). Precisamos falar sobre computação quântica. *Época Negócios*, 117.
- Freire, P. (2001). *Pedagogia da Autonomia – Saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra.
- Freire, P. (2005). *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Gadotti, M. (1991). *Convite a leitura de Paulo Freire*. São Paulo: Editora Scipione.
- González Garcia, M. I., López Cerezo, J. A., & Luján López, J. L. (1996). *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una introducción al estudio social de la Ciencia y la Tecnología*. Madrid: Tecnos.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1), 29-56.
- Haroche, S., & Raimond, J. (1996). Quantum Computing: Dream Or Nightmare? *Physics Today*, 49(8), 51-52.
- Lacey, H. (2010). *Valores e atividade científica 2*. São Paulo: Editora 34.
- Lacey, H. (2012). Pluralismo metodológico, incomensurabilidade e o status científico do conhecimento tradicional. *Scientiæ Studia*, 10(3), 425-453.
- Lanting, T., Przybysz, A. J., Smirnov, A. Y., Spedalieri, F. M., Amin, M. H., Berkley, A. J., et al. (2014). Entanglement in a Quantum Annealing Processor *Physical Review X*, 4(2), 021041-021041-021014.

- Millar, R. (2003). Um Currículo de Ciências Voltado Para a Compreensão por Todos. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 5(2), 73-91.
- Monteiro, M. A., Nardi, R., & Bastos Filho, J. B. (2009). A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Ciência e Educação*, 15(3), 557-580.
- Montenegro, R. L., & Pessoa Jr., O. (2002). Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(2), 1-20.
- Muenchen, C., & Delizoicov, D. (2012). A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(3), 199-215.
- Müller, R., & Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Journal of Physics*, 70(3), 200-209.
- Nielsen, M., & Chuang, I. (2005). *Computação Quântica e Informação Quântica*. Porto Alegre: Bookman.
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 23-48.
- Pereira, A. P., & Ostermann, F. (2009). Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em Ensino de Ciências*, 14(3), 393-420.
- Pinheiro, N. A. M. (2005). *Educação Crítico-Reflexiva para um Ensino Médio Científico e Tecnológico*. Unpublished Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Rabelo, W. R. M., & Costa, M. L. M. (2018). Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(4), e4306.
- Ribeiro, T. V., & Genovese, L. G. R. (2015). O emergir da perspectiva de Ensino por Pesquisa de Núcleos Integrados no contexto da implementação de uma proposta CTSA no Ensino Médio. *Ciência e Educação*, 21(1), 1-29.
- Rosa, S. E. (2014). *Não neutralidade da Ciência-Tecnologia: problematizando silenciamentos em práticas educativas relacionadas a CTS*. Unpublished Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Rosa, S. E., & Auler, D. (2016). Não Neutralidade da Ciência-Tecnologia: Problematizando Silenciamentos em Práticas Educativas CTS. *Alexandria*, 9(2), 203-231.
- Roso, C. C., & Auler, D. (2016). A participação na construção do currículo: práticas educativas vinculadas ao movimento CTS. *Ciência e Educação*, 22(2), 371-389.
- Santos. (2017). O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(1), e1301.
- Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2002). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(2), 1-23.
- Solomon, J. (1995). The dilemma of Science, Technology and Society Education. In P. Fenshan (Ed.), *Development and dilemmas in Science Education* (pp. 266-281). London; New York; Philadelphia: The Falmer Press.

Strieder, R. B. (2012). *Abordagens CTS na educação científica no Brasil*. Unpublished Tese, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Vaccarezza, L. S. (1998). Ciencia, Tecnología y Sociedad: el estado de la cuestión en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18(1), 13-40.