

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**Abordagem CTS no Ensino e Aprendizagem da Engenharia Genética
numa Turma de Biologia do 12º Ano**

Filipe Casinhas Ribeiro

Mestrado em Ensino da Biologia e Geologia

**Relatório da Prática de Ensino Supervisionada orientado pela
Professora Doutora Isabel Chagas**

2020

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**Abordagem CTS no Ensino e Aprendizagem da Engenharia Genética
numa Turma de Biologia do 12º Ano**

Filipe Casinhas Ribeiro

Mestrado em Ensino da Biologia e Geologia

**Relatório da Prática de Ensino Supervisionada orientado pela
Professora Doutora Isabel Chagas**

2020

Nota: Este relatório é escrito ao abrigo do antigo acordo ortográfico.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me ter dado o maravilhoso dom da vida.

Agradeço a toda a minha família, ao meu pai, à minha madrasta e aos meus irmãos, aos mais velhos pelos conselhos e incentivos e aos mais novos por encherem os meus dias de alegria e barulheira características da sua idade.

Aos escuteiros, por serem sempre um pilar da minha vida e educação, e por me terem proporcionado a minha primeira experiência como educador e experimentar como é maravilhoso e recompensador contribuir para educação dos jovens. Em especial agradeço aos chefes do meu agrupamento por terem tido, sempre, um papel incentivador em terminar esta etapa.

Agradeço à professora Isabel Chagas por me ter orientado durante este empreendimento, além disso agradeço todos os ensinamentos que me transmitiu, ao longo destes anos, e à disponibilidade que sempre demonstrou para me ajudar sempre que necessitei

Ao colégio que me acolheu e me proporcionou a minha primeira experiência como professor, estou muito grato à direcção e colegas que me acolheram muito bem e com os quais aprendi muito.

Ao professor José Feitor, que, além de um professor cooperante, se tornou também um mentor, colega e amigo. Obrigado por todos os conselhos, ensinamentos e oportunidades que me deu, não são como professor, mas como amigo. E já agora, obrigado por todos os cafés, essencial combustível no percurso de um jovem professor.

Não podia deixar de agradecer à Ana, minha namorada, por todas as horas dispensadas a auxiliar-me neste projecto, às incontáveis vezes que releu este relatório e por nunca me ter deixado desanimar. Mas acima tudo, por todas as vezes que me ouve, aconselha e me ajuda a ultrapassar todas as dificuldades. Muito obrigado!

Em último lugar, agradeço à primeira professora que conheci, a minha mãe, espero um dia estar à altura do seu exemplo, ser tão bom professor como ela foi e ter, como ela, sempre a mesma dedicação à missão de Ensinar.

Resumo

A Educação em Ciência e a literacia científica são essenciais a todos os cidadãos, para a tomada de decisões fundamentadas, participação em discussões científico-tecnológicas ou empregos directamente relacionados com a ciência e tecnologia.

A abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) tem sido uma das abordagens didácticas mais utilizadas na Educação em Ciência e a utilização de temas científicos controversos, e de conflitos entre a Ciência, Tecnologia e a Sociedade são reconhecidos como potencialmente motivadores e capazes de cativar o interesse dos alunos. A engenharia genética é um tema científico actual e apresenta-se como um tema bastante propício à aplicação de abordagens CTS.

Neste seguimento, foi realizada uma intervenção que pretendeu compreender as potencialidades da aplicação de várias actividades CTS, no ensino da engenharia genética e aumento da literacia científica, em alunos de Biologia do 12º ano. A intervenção realizou-se num colégio privado do distrito de Lisboa, numa turma de 22 alunos.

As actividades aplicadas foram: Projecto de pesquisa orientada com elaboração de um póster e sua apresentação, visualização e discussão de vídeos sobre engenharia genética, discussão em turma sobre a ética da edição de genes em humanos e a preparação e realização de uma entrevista a um cientista.

A investigação seguiu uma abordagem qualitativa, recorrendo a técnicas como a observação, questionários, grupos focais e recolha de documentos.

Os resultados analisados indicam que as estratégias aplicadas potenciam a promoção da literacia científica, através do contacto directo com diversos aspectos da Natureza da Ciência e das suas relações com a Tecnologia e a Sociedade.

A apreciação das actividades, por parte dos alunos, foi, no geral, bastante positiva. Contudo, foram evidenciadas, como principais dificuldades, a elevada complexidade de algumas das actividades propostas, bem como a falta de um documento orientador, pois estas exigiram um elevado grau de autonomia para a sua realização.

Palavras-chave:

Literacia científica; CTS; Engenharia genética; Biologia; CRISP;

Abstract

Science Education and scientific literacy are essential for all citizens to make informed decisions, participate in scientific-technological discussions or in jobs directly related with science and technology.

The Science, Technology and Society (STS) approach has been one of the most adopted teaching approaches in Science Education. Furthermore, the use of controversial scientific issues and conflicts between Science, Technology and Society are recognized as potentially motivators and capable of captivating students' interest. Genetic engineering is a current scientific topic and presents itself as a very favorable topic for the application of STS approaches.

An intervention was carried out that aimed to understand the potential of the application of various STS activities, in the teaching of genetic engineering and increase of scientific literacy, in Biology students of the 12th year. This intervention took place in a private school in the district of Lisbon, in a class of 22 students.

The activities performed were: Oriented research project to make a poster and its presentation, view and discussion of videos about genetic engineering, class discussion on the ethics of gene editing in humans, and the preparation and conduct of an interview to a scientist.

The investigation followed a qualitative approach, using techniques such as observation, questionnaires, focus groups and document collection.

The results indicate that the applied strategies enhance the promotion of scientific literacy, through direct contact with different aspects of the Nature of Science and its relations with Technology and Society.

The students' appreciation of the activities was, in general, quite positive. However, the high complexity of some of the proposed activities, as well as, the lack of a guiding document, were highlighted as major difficulties, as the tasks required a high degree of autonomy

Keywords:

Scientific literacy; STS; Genetic engineering; Biology; CRISP;

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice Geral	v
Índice Figuras	vii
Índice Tabelas	viii
1. Introdução	1
1.1 A Abordagem CTS na Promoção da Literacia Científica	1
1.2. Problemática: CTS no Ensino e Aprendizagem da Engenharia Genética	4
1.3. Organização do Relatório	5
2. Enquadramento Teórico	7
2.1 A Natureza da Ciência (NdC) Como Dimensão da Literacia Científica	7
2.2 Abordagem C-T-S: Orientação para o Estudo da Natureza da Ciência	10
2.3 Debate e Discussão de Questões CTS	14
2.4. Em Síntese	18
3. Sequência Didáctica Engenharia Genética: Planificação e Concretização	19
3.1. Conteúdo Científico	19
3.1.1 ADN	19
3.1.2 Engenharia Genética	21
3.1.3 ADN recombinante	21
3.1.4 CRISPR/Cas	25
3.2. Enquadramento Curricular	27
3.3. Sequência Didáctica: Actividades e Estratégias	30
3.3.1. Visualização de vídeos	31
3.3.2 Debate e Discussão sobre Engenharia Genética	33
3.3.3. Entrevista a um cientista.....	34
3.3.4. Pósteres científicos em contextos de aprendizagem da Ciência	35
3.3.5. Recursos Digitais	36
3.4. Descrição da Sequência Didáctica.....	36
3.4.1. Aula 1: “Introdução à Engenharia genética”	38
3.4.2. Aula 2: “Técnicas de Engenharia Genética”	39
3.4.3. Aula 3: “Técnica CRISPR/Cas9 - Entrevista a um cientista!”	40
3.4.4. Aula 4: “Discussão: Devemos alterar os nossos genes?”	41
3.4.5. Aula 5: “Apresentação de pósteres científicos”	43
4. Metodologia	45
4.1. Opções Metodológicas	45
4.2. Caracterização do Contexto Escolar e da Turma.....	46
4.3. Técnicas e Instrumentos de Recolha de Dados	47

4.4. Questões Éticas.....	49
4.5. Condicionantes à Concretização da Intervenção.....	49
5. Apresentação e Análise de Dados.....	51
5.1. Apreciação dos Alunos Acerca das Actividades Realizadas.....	51
5.1.1. Perspectivas acerca da actividade: “Visualização de Vídeos”	51
5.1.2. Perspectivas acerca da actividade “Entrevista a um Cientista”	55
5.1.3. Perspectivas acerca da actividade: “Discussão Ética da Edição de Genes”	58
5.1.4. Perspectivas acerca da Actividade: “Trabalho de Grupo”	62
5.2. Dificuldades dos Alunos na Realização das Actividades	66
5.2.1. Dificuldades na actividade “Visualização de Vídeos”	66
5.2.2. Dificuldades na actividade “Entrevista a Um Cientista”	67
5.2.3. Dificuldades na actividade “Discussão Ética da Edição de Genes”	67
5.2.4. Dificuldades na actividade “Trabalho de Grupo”	68
5.3. Aprendizagens potencializadas pela Sequência Didáctica.....	71
5.3.1. Grupo Focal. Sumário das Intervenções dos Alunos	72
5.3.2. Questionário e registos das observações	77
5.3.3. Análise dos pósteres	78
6. Conclusão e Reflexão.....	83
7. Referências.....	87
8. Apêndices.....	94
8.1 - Planificações das aulas.....	94
8.2 - Questionário	98
8.3 – Guião Grupo Focal.....	103
8.4 - Rúbrica de avaliação do poster.....	105
9. Anexos.....	106

Índice Figuras

Figura 1. Molécula de ADN (adaptado de Lodish et al., 2008).....	20
Figura 2. ADN recombinante (adaptado de Morbioli et al., 2016).....	23
Figura 3. Sistema CRISPR/Cas. (adaptado de Hylton, 2020).....	26
Figura 4. Campos de intervenção genética	32
Figura 5. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre”. -	52
Figura 6. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a visualização do vídeo “Designer DNA”.....	52
Figura 7. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a entrevista a um cientista..	55
Figura 8. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a actividade de discussão.....	59
Figura 9. Respostas às questões fechadas do questionário sobre o Trabalho de Grupo.....	62
Figura 10. Avaliação dos pósteres.....	78
Figura 11. Classificações (1 a 5) dos diferentes grupos nos diferentes critérios de avaliação da apresentação dos pósteres	79
Figura 12. Classificações (1 a 5) dos diferentes grupos nos diferentes critérios de avaliação dos conteúdos dos pósteres.....	80

Índice Tabelas

Tabela 1 - Planificação das intervenções.....	37
Tabela 2 - Análise das respostas à questão aberta “Quais são as vantagens da visualização deste tipo de vídeos na compreensão destes conceitos?”	53
Tabela 3 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da entrevista a um cientista	57
Tabela 4 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da actividade de discussão-Planificação das intervenções	60
Tabela 5 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da actividade trabalho de grupo.....	64
Tabela 6 - Análise das respostas à questão aberta sobre as desvantagens da actividade trabalho de grupos.....	65
Tabela 7 - Análise das respostas à questão aberta sobre as dificuldades durante a discussão..	67
Tabela 8 - Análise das respostas à questão aberta sobre as dificuldades durante o trabalho de grupo.....	69
Tabela 9 -Análise das respostas à questão aberta sobre “O que podia ser melhorado no trabalho de grupo	70

1. Introdução

O presente relatório inicia-se com a apresentação da componente investigativa da Prática de Ensino Supervisionada (PES), salientando a relevância da abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) na promoção da literacia científica em contexto escolar. Em seguida, são apresentados os elementos da problemática em estudo, incluindo o enunciado do problema e das questões de investigação. Por fim, descreve-se a estrutura geral do relatório.

1.1 A Abordagem CTS na Promoção da Literacia Científica

Existe, cada vez mais, a preocupação e a vontade de que a Educação em Ciência seja alargada a todas as pessoas. Este alargamento visa proporcionar um aumento dos níveis de literacia científica nas populações. A vontade e a preocupação provêm de vários sectores da sociedade por diversos motivos, tais como: perspectivar o ensino das ciências como estudo cultural da história e do pensamento científico do mundo moderno (Aikenhead, 2009), preparar o aluno para o mercado de trabalho, evidenciar a relevância da Ciência na vida quotidiana das pessoas (Sjøberg & Schreiner, 2010), bem como encorajar o aluno para a compreensão do mundo natural e para a pesquisa e processamento da informação necessária para compreender, debater e tomar decisões sobre os avanços científicos e tecnológicos actuais e futuros (Deboer, 2000; Reis, 2004).

A este respeito Millar (2002) afirma que o ensino das ciências, e a sua inclusão nos currículos escolares, contribui para o desenvolvimento de competências, conhecimentos e perspectivas únicas acerca das disciplinas científicas. Defende, também, que a Educação em Ciência é necessária a todos os cidadãos, para que estes consigam tomar decisões informadas no seu quotidiano, para que possam participar em discussões científico-tecnológicas e para que sejam aceites em empregos directamente relacionados com a ciência e a tecnologia, nos mais diversos níveis.

Assumindo, assim, que o entendimento científico é de extrema importância para qualquer sociedade, Millar (2002) analisa os cinco argumentos a favor do ensino das ciências alargado a todos:

- *Argumento económico*: existe uma relação significativa entre o nível de conhecimento científico da população e a prosperidade económica de um país.
- *Argumento utilitário*: a compreensão do público acerca da ciência e da tecnologia traz benefícios práticos para o indivíduo e para a sociedade onde este se insere.

- *Argumento democrático*: a compreensão da ciência é necessária para que cada indivíduo possa participar em discussões e debates e tomar decisões acerca de assuntos que envolvem aspectos de natureza científica.
- *Argumento social*: uma elevada compreensão da ciência pelo público conduz a atitudes mais positivas em relação à ciência e ao conseqüente apoio a empreendimentos científicos e tecnológicos.
- *Argumento cultural*: a ciência é perspectivada como um dos marcos mais importantes da nossa cultura e, por isso, todos os cidadãos devem ser capazes de a compreender e apreciar como produto cultural.

Como Millar (2002) aponta, após a discussão destes argumentos, é necessária a compreensão da ciência, e da sua relação com a tecnologia e a sociedade para que as pessoas sejam capazes de tomar decisões informadas e reflectidas acerca da sua vivência diária, e das questões políticas e sociais que emergem quer na sua comunidade, quer a nível global, em que a ciência e a tecnologia são cada vez mais um tema de discussão. Tais elementos estão na base de uma concepção de literacia científica, expressa pela OCDE no quadro do programa PISA (Ministério da Educação, 2004, p.7):

[A literacia científica] é a capacidade de usar o conhecimento científico, de identificar questões e de desenhar conclusões baseadas na evidência por forma a compreender e a ajudar à tomada de decisões sobre o mundo natural e das alterações nele causadas pela actividade humana.

Em suma, a Educação em Ciência é relevante para a formação de cidadãos informados e críticos e um entendimento da ciência, do seu funcionamento e dos seus impactes, é fundamental na construção de uma sociedade crítica e responsável – cientificamente literata.

A abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) tem sido, desde os anos 70 do século XX, uma das orientações didácticas mais seguidas na Educação em Ciência para promoção da literacia científica. A adesão a este “movimento”, tanto pelos organismos oficiais de vários países, como pelas editoras de manuais e pelos professores (Yager, 1993) tem sido assinalável. A designação “Ciência, Tecnologia e Sociedade” foi utilizada, pela primeira vez, por John Ziman no seu livro *Teaching and Learning About Science and Society* (Ziman, 1980),

para categorizar todas as abordagens didáticas que incluem uma componente social no tratamento de determinado tema curricular. Mais recentemente Pérez (2012, p. 13), descreve essas sete abordagens CTS no ensino das ciências:

- Relevante: centra-se em aplicações da ciência e da tecnologia na sociedade com o objectivo de envolver alunos e favorecer as aprendizagens.
- Vocacional: encoraja os alunos na escolha de carreiras profissionais em áreas científicas, tecnológicas e de engenharia.
- Interdisciplinar: coloca a ênfase nas relações entre diferentes disciplinas científicas, tendo em vista a compreensão social da ciência.
- Histórica: considera aspectos históricos da Ciência com a finalidade de promover a compreensão da evolução e das transformações sociais do progresso científico.
- Filosófica: analisa e reflecte sobre a evolução e as transformações sociais do conhecimento científico e sobre a compreensão da natureza da ciência.
- Sociológica: analisa a construção social da ciência em termos de implicações políticas e económicas.
- Problemática: aborda questões controversas em Ciência na sociedade conforme dimensões internas e externas da realização científica e tecnológica.

Actividades centradas em temas científicos controversos e em conflitos entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade são reconhecidas como potencialmente motivadoras e capazes de cativar o interesse e o envolvimento dos alunos (Chen & Stroup, 1993; McGinnis & McDonald 2011, Sadler & Dawson, 2012).

No seu estudo realizado em Israel, Dori, Tal e Tsaushu (2003) seguiram uma abordagem CTS para o ensino da biotecnologia dirigida a 200 alunos israelitas de cursos não científicos. Os resultados foram bastante promissores, sugerindo uma tendência dos alunos participantes para maior aquisição de conhecimentos do tema em estudo, bem como um aumento significativo de capacidades de pensamento de nível elevado e um aumento da literacia científica e tecnológica.

Os resultados de estudos como este têm vindo a reafirmar as potencialidades didáticas da abordagem CTS ao permitir a incorporação de situações reais familiares ao dia-a-dia dos alunos e de acontecimentos problemáticos ocorridos tanto local como globalmente nos temas curriculares em ciências.

A engenharia genética é um tema científico de grande actualidade com inúmeros avanços nas últimas décadas, nomeadamente o desenvolvimento de muitas tecnologias com a potencialidade de ajudar a humanidade, a vários níveis, na Saúde, na Agricultura, e na Ecologia, entre outros (Berg, 2008; Nicholl, 2008; Steinbrecher & Paul, 2017). Contudo, esses avanços, também levantam muitas questões éticas associadas, principalmente, a situações em que a engenharia genética é aplicada a questões sensíveis da humanidade como a saúde. Devido à sua actualidade e controvérsia, a engenharia genética apresenta-se como um tema bastante propício à aplicação da abordagem CTS (Sadler & Dawson, 2012; Evagorou & Dillon, 2020).

1.2. Problemática: CTS no Ensino e Aprendizagem da Engenharia Genética

Atendendo ao enquadramento anteriormente apresentado, que destaca a importância da Educação em Ciência para a formação de cidadãos literatos em ciência e o possível contributo da abordagem CTS para alcançar essa formação, formulou-se, o seguinte problema:

- Quais as potencialidades da realização de actividades CTS em engenharia genética na promoção da literacia científica, em alunos do 12º ano?

De modo a concretizar o problema proposto, foram definidas as seguintes questões de investigação:

- Que aprendizagens são potencializadas ao longo de uma sequência didáctica sobre Engenharia Genética em que são realizadas diferentes actividades CTS?
- Que apreciação fazem os alunos das actividades CTS realizadas?
- Que dificuldades são evidenciadas pelos alunos ao realizar as actividades CTS?

Realizou-se uma investigação em pequena escala seguindo uma metodologia qualitativa e interpretativa, baseando-se na descrição e interpretação da acção. Teve como finalidade esclarecer as potencialidades e dificuldades sentidas pelos alunos, face às diferentes actividades com orientação CTS aplicadas, na compreensão de conceitos relacionados com a engenharia genética e dos mecanismos e relações entre ciência, tecnologia e sociedade, nomeadamente, o papel do cientista no desenvolvimento e aplicação da ciência, como é realizada a comunicação em ciência e como esta comunica com a sociedade e quais os impactos sociais, éticos e morais da aplicação da ciência e da tecnologia.

Foi planeada e concretizada uma sequência didáctica com as seguintes actividades segundo uma orientação CTS:

- Projecto de pesquisa orientada com elaboração de um póster e sua apresentação.
- Visualização e discussão de vídeos sobre engenharia genética.
- Discussão sobre a ética da edição de genes em humanos “Devemos alterar os nossos genes?”
- Preparação e realização de uma entrevista a um cientista.

1.3. Organização do Relatório

De forma a organizar e facilitar a leitura do trabalho por mim desenvolvido, o presente relatório encontra-se dividido em 6 capítulos. No final, constam as referências bibliográficas, que serviram de base a toda a fundamentação e concretização do estudo e também a secção de apêndices que reúne documentação especialmente elaborada para a realização deste trabalho (ex. planos das aulas, instrumentos de recolha de dados) e a secção de anexos que inclui trabalhos produzidos pelos alunos.

No primeiro capítulo procede-se a uma contextualização da temática em estudo, evidenciando a sua pertinência e apresenta-se a problemática através do enunciado do problema e das questões de investigação.

No segundo capítulo é explanado o enquadramento teórico que serviu de justificação e fundamento da componente investigativa da PES aqui relatada e de orientação para o planeamento das actividades CTS realizadas ao longo da sequência didáctica por mim leccionada.

No terceiro capítulo descreve-se detalhadamente a sequência didáctica leccionada, sendo apresentado o contexto escolar no qual decorreu e a sua ancoragem às disposições curriculares actualmente em vigor. Consta, também, a descrição dos conceitos relacionados com a engenharia genética, abordados durante as aulas, e das actividades e estratégias de ensino seguidas. Inclui uma descrição detalhada das aulas planificadas e a minha reflexão sobre a sua concretização.

O capítulo quatro está centrado nos aspectos metodológicos que orientaram a componente investigativa sobre a leccionação da sequência didáctica. As opções metodológicas são justificadas, os participantes são descritos, as técnicas e instrumentos de recolha de dados são apresentados e discutidas as questões éticas envolvidas.

O quinto capítulo está focado na apresentação dos dados recolhidos, ao longo da intervenção, e na posterior análise e discussão dos resultados, tendo como apoio a bibliografia consultada.

O sexto capítulo contempla uma reflexão pessoal sobre o trabalho realizado. Neste capítulo procuro responder ao problema de investigação colocado inicialmente, comentar as limitações da componente investigativa, as dificuldades na sua concretização e sugestões para possíveis investigações futuras.

O capítulo sete corresponde à lista de referências bibliográficas das obras referidas ao longo do relatório, de acordo com a norma da APA (American Psychological Association).

2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo são apresentados os fundamentos que estiveram na base da planificação e concretização da sequência didáctica e da componente investigativa realizadas no âmbito da PES. Inicia-se com uma secção sobre a relevância da compreensão da natureza da ciência para o desenvolvimento da literacia científica. Na segunda secção analisa-se a pertinência da abordagem CTS para o estudo da natureza da ciência. Na terceira secção são abordados o debate e a discussão como estratégias didácticas para a realização de actividades CTS. A quarta secção inclui uma revisão da literatura sobre o uso de actividades CTS sobre engenharia genética e biotecnologia. A quinta e última secção é uma síntese das leituras como orientação das aulas e das actividades realizadas.

2.1 A Natureza da Ciência (NdC) Como Dimensão da Literacia Científica

A Ciência, actualmente, tem um impacto significativo em quase tudo o que nos rodeia, tanto através das tecnologias que dela advêm, bem como das implicações filosóficas que levanta, através dos novos conhecimentos científicos que vão sendo construídos. Contudo, a maioria dos cidadãos das nossas sociedades desconhecem qual é a natureza da ciência, como esta nasceu, como tem evoluído, ou como se relaciona com o mundo e a sociedade. Este desconhecimento pode ser especialmente prejudicial para as sociedades actuais, uma vez que podem levar a tomadas de decisão desinformadas, a nível social, económico, político e até em questões do quotidiano (McComas, Clough & Almazroa, 1998).

De acordo com a National Science Teachers Association (2020) a NdC é uma componente essencial da literacia científica. Ao aprender NdC os alunos ampliam a compreensão dos conceitos científicos em estudo e aperfeiçoam a sua capacidade em tomar decisões sobre questões pessoais e sociais, informadas em bases científicas. Torna-se, portanto, cada vez mais pertinente que a Educação em Ciência seja direccionada para o ensino e aprendizagem, não só, das matérias científicas como também da própria Natureza da Ciência tendo em vista a promoção da literacia científica.

Apesar da NdC ser referida há mais de 100 anos como uma importante finalidade em educação (NSTA, 2020) a sua definição conceptual não é consensual na literatura, o que dificulta a sua aplicação no ensino. A este respeito, Moura (2014, pp 34-35), baseado nas obras de 3 autores e respectivos colaboradores – William F. McComas, Stephen Pumfrey e Daniel Gil-Pérez – sintetiza os seguintes cinco pontos de consenso:

- A ciência é um processo dinâmico, e em constante mutação, cujo objectivo é explicar a Natureza e os seus fenómenos. Segundo estes autores, a ciência não é um conjunto de conhecimentos adquiridos e aceites como certos, acriticamente, mas sim um processo em constante mudança que se questiona e revê.
- A ciência não se baseia num único método científico, pelo contrário, as metodologias da ciência diferem quer entre as várias ciências, quer entre os vários cientistas, não estando obrigadas a seguir um padrão de regras, nem métodos universais, e existindo a liberdade para a acção de cada um. Desde que os métodos sejam válidos e coerentes, o mesmo fenómeno pode ser estudado de formas diferentes e por diferentes cientistas.
- A relação entre a teoria científica e a experiência não é uma relação linear. Na concepção actual da ciência, desencoraja-se a ideia de que uma experiência leva a uma teoria, e que se certa experiência for replicada diversas vezes, essa teoria torna-se comprovada. Esta ideia denota a ciência como uma prática muito superficial e linear, que não corresponde à realidade. As teorias e a experimentação não têm uma relação definida, sendo possível encontrar as mais variadas formas de relação entre elas. A teoria e a experiência são, contudo, elementos fundamentais da Ciência, sendo o conhecimento científico sempre provisório e evolutivo ao longo do tempo, através das mudanças da própria ciência, da sociedade e das culturas.
- A ciência é influenciada pelo contexto social, político e cultural no qual se desenvolve. Ou seja, a ciência é permeável ao meio que a rodeia não sendo imune às influências do exterior. A ciência também é afectada por questões geográficas como o lugar no planeta onde o cientista vive e actua, uma vez que cada época da história gera as suas próprias questões e cria condicionalismos diferentes para os cientistas e a ciência.
- Os cientistas utilizam a sua imaginação, crenças pessoais e influências externas para fazer ciência. Predomina muitas vezes a noção de que o cientista está alheio ao

mundo ao redor, e que da sua acção resulta uma ciência neutra e livre de influências. Contudo, uma análise da construção da ciência revela o cientista como um ser humano comum, e como tal falível e passível de cometer erros, que está sujeito, durante a sua acção, às suas crenças, convicções e expectativas e a legitimar as suas ideias e actividades através das mesmas.

Com a mesma preocupação de clarificar as divergências filosóficas na definição de NdC, Niaz (2009) identificou onze princípios consensuais, em particular na comunidade educativa:

1. O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, de evidências experimentais, argumentos racionais e cepticismo.
2. Observações são sustentadas por teorias.
3. A ciência é experimental e falível.
4. Não existe uma forma exclusiva de fazer ciência e, portanto, não é possível definir um único método científico universal.
5. Leis e teorias desempenham papéis diferentes em ciência e, portanto, as teorias não se tornam leis após um aumento da sua credibilidade através da evidência.
6. O progresso científico é caracterizado pela competição entre teorias rivais.
7. Diferentes cientistas podem interpretar os mesmos dados experimentais de forma diferente.
8. O desenvolvimento de teorias científicas é por vezes baseado em fundamentos inconsistentes.
9. Os cientistas precisam de registos precisos das suas actividades, revisão e validação das suas práticas pelos seus pares e as suas acções devem ser replicáveis.
10. Os cientistas são criativos recorrem frequentemente à imaginação e especulação.
11. As ideias científicas são afectadas pelo seu meio social e histórico.

Divergindo da criação de listas de consenso com a finalidade de clarificar NdC, autores como Duschl e Grandy (2013) comentam que a definição de princípios para definir a natureza da ciência, pode gerar uma visão pouco profunda e demasiado generalista do que ela é na realidade. Esta tentativa de chegar a uma visão generalizada e consensual pode gerar concepções erróneas e contribuir negativamente para a aprendizagem da literacia científica. Os

autores defendem um ensino explícito da NdC que incida nas experiências dos alunos ao realizar actividades experimentais geradoras de evidências, explicações e conhecimentos científicos e ao comunicar e criticar ideias e informações científicas.

A Escola, como contexto formal para a promoção da literacia científica tem a seu cargo um ensino das ciências dirigido a todos os seus alunos, conduzindo-os, não só, nas aprendizagens dos conhecimentos científicos como também dos processos e acontecimentos segundo os quais a ciência se constrói e evolui ao longo dos tempos e suas implicações sociais. Para isso é importante que os professores de ciências concretizem um ensino explícito da NdC, recorrendo a diferentes modelos e estratégias que têm vindo a ser propostos pela comunidade de investigadores em Educação em Ciência.

2.2 Abordagem C-T-S: Orientação para o Estudo da Natureza da Ciência

Nas suas obras em que descreve, analisa e discute a Ciência, na procura da sua compreensão, John Ziman (1984, 1980) considera quatro dimensões:

- Histórica – a ciência é perspectivada como “arquivo” de conhecimentos que vão aumentando e evoluindo ao longo do tempo.
- Filosófica – centra-se nos procedimentos (modelos teóricos, métodos, tecnologias) seguidos pelos cientistas na sua procura pela compreensão acerca do mundo e do universo.
- Psicológica – analisa as competências, concepções, valores e atitudes dos cientistas que influenciam o seu trabalho.
- Sociológica – refere-se às relações que se estabelecem entre os cientistas e toda a comunidade científica enquanto se desenvolve a investigação (sociologia interna) e as relações que estabelecem entre o trabalho científico e o contexto social onde se insere, como a aplicação da ciência à tecnologia, com fins económicos, e a utilização da tecnologia na resolução dos problemas da sociedade, com fins políticos (sociologia externa).

John Ziman é reconhecido pela relevância que atribui às relações que se estabelecem entre a ciência a tecnologia e a sociedade, pelo que em contexto de aprendizagem faz sentido realizar actividades em que os alunos se apercebam destas relações, as discutam e visionem as

implicações que têm nas suas próprias concepções acerca do que é Ciência e das suas potencialidades e limitações nas nossas sociedades.

O movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) em educação procura ser resposta a muitos dos problemas presentes no dia a dia nas salas de aula de ciências. Alguns dos problemas habituais são a incapacidade dos alunos em aplicar os conhecimentos científicos no dia a dia, o baixo nível de literacia alcançado com as estratégias didácticas tradicionais, mesmo em alunos que obtêm bons resultados académicos, e o reduzido interesse em prosseguir cursos e carreiras científicas (Vieira, Tenreiro-Vieira, Martins, 2011).

O autor Robert Yager (1993) conta-nos que na década de 1960, fruto do movimento de reforma dos currículos de ciências que teve origem nos Estados Unidos da América do Norte, foi dado um grande apoio a práticas de ensino segundo uma abordagem de investigação (*inquiry approach*) em que se procura dar a conhecer aos alunos como a ciência é trabalhada pelos cientistas, sendo o foco principal os conceitos, processos, métodos e técnicas específicas por eles utilizadas nas suas investigações, tendo em vista a compreensão e o conhecimento dos fenómenos naturais. Esta abordagem foi de grande sucesso pois motivou muitos jovens para a escolha de carreiras em ciência; contudo, muitos outros jovens que não seguiram esse caminho afastaram-se cada vez mais da ciência como forma de conhecimento relevante para as suas vidas.

A abordagem CTS, proposta mais tarde, nos fins da década de 1970, tendo em vista aproximar mais *todos* os alunos da ciência, centra-se numa situação ou/e num problema que seja familiar aos alunos, que seja actual e, principalmente, que os esteja a afectar ou que os possa afectar no futuro (Yager, 1993). Esta abordagem, direccionada para o mundo e contexto do aluno, pretende, primariamente, demonstrar ao aluno, a relevância que a ciência e a tecnologia têm na vida do próprio e como essa proximidade torna o ensino da ciência fundamental no seu crescimento e formação. De acordo com Yager (1993) os alunos, através desta abordagem, são convidados a enquadrar a ciência no problema em estudo e procurar activamente por aplicações práticas da ciência (tecnologia) na resolução desse problema ou situação – a aplicação da tecnologia como forma de solução para um problema da sociedade.

Estudos realizados no fim de década de 1980, início de 1990, revistos por Yager (1993), relatam consistentemente que os alunos CTS são quatro vezes mais eficientes na aquisição de conceitos científicos básicos, os quais são retidos durante mais tempo do que em alunos que não trabalharam de acordo com uma abordagem CTS. As habilidades criativas relacionadas

com a ciência, tais como, formulação de questões, hipóteses e previsões sobre matérias científicas aumentam nos alunos CTS, sendo maior a probabilidade de usarem essas capacidades processuais em situações do quotidiano. Para além disso, a percepção destes alunos acerca da Natureza e do funcionamento da Ciência melhora e os professores sentem-se mais confiantes das suas capacidades em ensinar ciência e estimular o envolvimento e aprendizagem dos seus alunos quando seguem uma abordagem CTS. Os alunos CTS adquirem mais informações acerca de carreiras científicas, o que leva a uma maior e melhor ponderação acerca do prosseguimento de estudos e carreiras profissionais em áreas científicas.

Numa revisão mais recente sobre a utilização de abordagens e estratégias CTS, Aikenhead (2009), reuniu evidências de que alunos em aulas de ciências com estratégias CTS quando comparados com alunos em aulas mais tradicionais: (a) melhoram significativamente a sua compreensão acerca das questões sociais, internas e externas, da ciência e das interações entre ciência, tecnologia e sociedade, ainda que essa melhoria esteja sempre dependente da estratégia utilizada e do professor que a desenvolve; (b) melhoram significativamente as suas atitudes em relação à ciência, às aulas e em relação à aprendizagem; (c) podem melhorar capacidades como a aplicação da ciência no seu dia-a-dia, o pensamento crítico e criativo e a tomada de decisão (mas apenas quando estas capacidades são praticadas através das estratégias CTS seguidas). E, por fim, a aprendizagem da ciência, através da abordagem CTS, é benéfica quando o conteúdo CTS está integrado no conteúdo científico original, de uma forma ponderada e objectiva, quando existem os materiais pedagógicos necessários e também quando a orientação do professor é a correcta, na sincronização das matérias a leccionar e da estratégia a aplicar.

A abordagem CTS, definida pela The National Science Teachers Association (2016; 2007) como a aprendizagem da ciência e da tecnologia em contexto de experiências humanas, baseia-se na identificação de problemas e situações familiares próximas aos alunos, no uso de recursos para pesquisa de informação tendo em vista a resolução da situação em estudo, o envolvimento activo e autónomo dos alunos nessa procura de informação, o foco no impacto da ciência no mundo e na sociedade e na sua aplicabilidade no mundo além do escolar, a oportunidade de praticar a cidadania na resolução de problemas sociais, ambientais e políticos e a aprendizagem do impacto que a ciência e a tecnologia tem na actualidade e na formulação do futuro da Humanidade e do Planeta.

A abordagem CTS utiliza estratégias didáticas muito variadas como os jogos, simulações, debates, encenações, visualização de vídeos e multimédia, trabalho de investigação e de projecto individual e/ou em grupo ou o contacto com a comunidade, seja através de idas a museus, fábricas ou a vinda de oradores externos à sala de aula (Hofstein, Aikenhead & Riquarts, 1988).

No âmbito do ensino e aprendizagem da temática Património Genético, Biotecnologia e Engenharia Genética encontram-se várias propostas de actividades CTS seguindo diferentes estratégias e usando diferentes recursos, que se apresentam a seguir como exemplos.

Furtado e Vasconcelos (2019) descrevem uma unidade de aprendizagem sobre o tema DNA e Identificação de Pessoas que se realizou ao longo de 5 aulas de 2h30m cada com alunos do ensino secundário. Através de um processo de resolução de problemas identificados na primeira aula realizou-se uma sequência de actividades envolvendo trabalho laboratorial (extração do DNA de morangos), visualização de um filme de ficção científica, análise de dois vídeos, leitura de textos referentes à temática, construção de argumentos com base nos textos e nas actividades realizadas e debate.

Cavalli, Cáceres, Iansen e Schneider (2014) propõem um módulo didáctico de 5 aulas em que o tema Ciência, Tecnologia e Sociedade é articulado com os tópicos Manipulação Genética e Eugenia. A discussão de reportagens em diferentes revistas conduz à formulação de diferentes questões-problema que são trabalhadas mediante discussões e debates sugeridos pela visualização de apresentações power point, análise de revistas científicas, visualização de um filme de ficção científica e escrita de um texto de reflexão por cada aluno.

Rebelo, Mendes e Soares (2009) desenvolveram diferentes recursos didácticos com base numa notícia de jornal sobre uma doença neurodegenerativa incurável com elevada prevalência nas populações dos Açores, constituindo um caso de saúde pública, com elevado impacto social e, por isso, objecto de investigação de cientistas nacionais e estrangeiros. Após o levantamento de questões-problema a partir da análise da notícia realizaram-se actividades envolvendo: pesquisa, organização e síntese de informação; análise e interpretação de informação em formatos diversos; utilização das TIC; trabalho laboratorial; debate de ideias, argumentação e confronto de opiniões fundamentadas; exercícios de papel e lápis; e contactos com investigadores e centros de investigação.

Santos (2006) desenhou, aplicou e validou recursos didácticos CTS sobre o tema Organismos Geneticamente Modificados dirigidos a alunos do secundário. Foram construídos diferentes recursos para serem utilizados em seis actividades, centradas nos domínios científico, social e tecnológico. Os recursos didácticos incluem trabalho laboratorial, debate de temas controversos, pesquisa de informação na Internet, visualização e análise de modelos e animações, leitura de artigos científicos e análise de material do quotidiano.

Da análise destes quatro exemplos ressaltam a discussão, o debate, a argumentação como estratégias comuns. O uso de temas controversos em actividades CTS é responsável por um aumento de interesse por parte dos alunos de ensino superior face ao interesse gerado por abordagens CTS não controversas. Incorporar questões polémicas como clonagem, alimentos geneticamente modificados e conflitos de ciência e tecnologia também é um método recomendado para aumentar o interesse e a motivação dos alunos e melhorar o seu pensamento sistémico (Chen & Stroup, 1993; McGinnis & McDonald 2011; Sadler & Dawson, 2012).

As discussões científicas que muitas vezes acontecem em contextos CTS devem ser sempre efectuadas através do diálogo lógico, apoiado em argumentos científicos e/ou sociais (Driver, Newton & Osborne, 2000). Esses argumentos sociais são muitas vezes baseados na ética e não devem ser dissociados dos argumentos científicos, pois estar-se-ia a ignorar o impacto social da ciência. É, portanto, importante que a ética seja um tema abordado conjuntamente com a ciência em abordagens CTS que assim o exigem.

Kormondy (1990) sugere que os conflitos éticos levantados pela ciência não sejam abordados de uma forma didáctica, nem impostos de forma autoritária, mas sim introduzidos sob a forma exploratória, focando a formulação de questões éticas e convidando os alunos a levantarem as suas próprias questões éticas e não tanto centrarem-se em possíveis respostas. A ética e a ciência gozam ainda de uma certa proximidade na forma como são discutidas, ambas se focam na objectividade dos argumentos bem como na sua justificação, tanto os argumentos éticos como os científicos são argumentos que se dispõem à opinião crítica (Allchin, 1999).

2.3 Debate e Discussão de Questões CTS

O termo discussão é muitas vezes utilizado incorrectamente, tanto em contexto escolar, como no dia-a-dia, sendo confundido com outros termos como por exemplo conversa, debate, troca de opiniões ou recitação. Dillon (1994) aponta as principais diferenças entre debate e discussão. Num debate existe a exposição e a defesa de opiniões previamente formadas e

termina, normalmente, com a vitória de uma das posições. Também há casos em que o resultado final é um impasse e ambas as facções mantêm os seus pontos de vista sem terem sofrido qualquer influência mútua.

Na discussão, há troca de informações entre indivíduos, ou seja, todos os elementos do grupo contribuem na apresentação de argumentos de forma a melhorarem a opinião sobre determinado assunto. A discussão não é uma questão de duas facções, mas sim um acordo entre as partes e uma posição final partilhada pelos participantes.

O debate, em sala de aula, é uma estratégia didáctica que consiste no trocar de argumentos entre os alunos na procura de chegar a uma conclusão sobre uma situação ou tema. O debate tem inúmeras formas de ser aplicado em contexto de sala de aula, contudo independentemente da forma estabelecida, o seu uso abre a possibilidade de os alunos compreenderem que tomar decisões é uma tarefa complexa que envolve o uso de conhecimentos de várias ordens, científicos, sociais, económicos, ambientais, éticos e de habilidades de comunicação interpessoal e oral. O debate permite ainda aos alunos um entendimento mais profundo do tema que está a ser debatido, uma vez que esse entendimento é necessário à formulação de argumentos (Simonneaux, 2001; Proulx, 2004)

Segundo Krasilchick (2008), este tipo de aulas, possibilita aos alunos reverem os seus conhecimentos e pensarem acerca dos mesmos de forma crítica e criativa com o objectivo de criarem argumentos que os corroborem. Este tipo de aulas também permite, muitas vezes, a introdução de um contexto social e ou ambiental que é essencial para uma aprendizagem significativa. Para além disto, este tipo de actividades promove o desenvolvimento de competências de comunicação entre os colegas. Contudo, Krasilchick (2008) afirma que há sempre o risco de alguns alunos mais introvertidos não aderirem à estratégia, não participando nos debates e discussões, espoliando assim os objectivos que este tipo de actividades potencia.

Os debates podem realizar-se com recurso a notícias dos *media* acerca de desenvolvimentos científicos recentes, muitas vezes envoltos em controvérsia e discussão (Zimmerman, Bisanz, Bisanz, Klein & Klein (2001). Desta forma é possível apresentar aos alunos uma visão real de como a ciência se desenvolve, contrariando algumas concepções erróneas acerca da ciência, em que o desenvolvimento científico é entendido como um processo linear de simples acumulação de conhecimentos, sem crises, confrontos ou controvérsias, e a ideia de que a ciência é um empreendimento socialmente neutro, ignorando as suas relações complexas com a tecnologia e a sociedade. As aulas de debate requerem uma exigente

preparação por parte do professor, em relação ao tema em debate e à orientação do mesmo. Por vezes pode criar alguma insegurança ao professor face à imprevisibilidade das intervenções dos alunos (Reis 2004).

Segundo Dillon (1994), uma discussão é um método de interacção em grupo, no qual os membros se reúnem para abordar uma questão do interesse comum, problematizando-a, e sobre a qual é necessário compreender, apreciar ou tomar alguma decisão. Uma discussão incide sobre a reflexão de uma questão ou tema onde são apresentadas e analisadas diferentes propostas em grupo sob a forma de interpretações, factos, sugestões, opiniões ou experiências dos membros do grupo. Com esta análise pretende-se encontrar uma resposta para a questão inicial, que não tem de ser, necessariamente, uma resposta explícita, podendo apenas implicar uma melhor compreensão da questão inicial ou uma apreciação melhor fundamentada.

A discussão só pode ocorrer quando há uma questão a ser respondida, caso contrário, se o grupo já tomou uma decisão sobre o tópico em causa, não é possível gerar-se discussão (Dillon, 1994; Parker & Hess, 2001). Outras condições para que ocorra uma discussão em grupo são a apresentação de mais do que um ponto de vista, a possibilidade de reacção aos pontos de vista apresentados, a ausência de dogmatismos, o respeito entre os participantes, a preocupação pela coerência dos argumentos referidos e a intenção de desenvolver conhecimento e compreender o assunto discutido (Reis 2004).

Muitos autores (ex., Parker & Hess, 2001; Reis, 2004), consideram a discussão como a base do conhecimento pois é na interacção das experiências e conhecimentos do sujeito com outros indivíduos, que se dá a construção dos seus instrumentos sociocognitivos. A discussão permite-nos aumentar o contacto dos nossos pensamentos e conhecimentos com as interpretações e vivências dos outros que nos rodeiam. Por outro lado, a discussão encontra-se ligada a valores de democracia, tolerância e respeito, levando à promoção de tais valores. A discussão de questões socio-científicas controversas, é considerada como sendo útil na aprendizagem de conteúdos sobre a natureza da ciência e da tecnologia, bem como no desenvolvimento cognitivo social político e ético (Reis, 1997; Reis & Pereira, 1998; Reis 2004).

Brookfield e Preskill (1999) identificaram quinze benefícios da discussão na promoção de aprendizagens:

1. Ajuda os alunos a procurarem a diversidade de perspectivas.
2. Aumenta a consciencialização e a tolerância em relação à ambiguidade e complexidade.
3. Ajuda os alunos a reconhecer e a investigar as suas próprias suposições.
4. Encoraja os alunos a escutar de forma atenta e respeitosa.
5. Desenvolve novas apreciações sobre divergências que se mantêm.
6. Desenvolve a agilidade intelectual.
7. Desenvolve a conexão do aluno com o tópico abordado.
8. Demonstra respeito pela voz e experiências dos alunos.
9. Contribui para a aprendizagem dos processos e convenções do discurso Democrático.
10. Reforça a posição dos alunos como co-produtores do conhecimento.
11. Contribui para a capacidade de comunicação de ideias e significados.
12. Desenvolve hábitos de aprendizagem colaborativa.
13. Leva a uma maior empatia entre os alunos participantes.
14. Ajuda os estudantes a desenvolver competências de síntese e integração.
15. Contribui para a transformação social.

Reis (2004) sumariza vários motivos que, apesar das vantagens e benefícios da discussão, desencorajam a utilização desta estratégia em sala de aula. Entre os motivos enunciados, o facto de a discussão ser algo difícil de realizar, pois requer bastante tempo, e pode ser muitas vezes imprevisível, sendo os seus resultados difíceis de avaliar. Também apresenta dificuldades aos professores, nomeadamente, aqueles professores que possam não deter capacidades de gestão e orientação de discussões em sala de aula, ou que não se sintam seguros nem confiantes, ou que não saibam lidar com algumas opiniões imaturas ou conflitos entre os alunos. Para além disso, alguns professores, podem não possuir conhecimentos necessários à discussão de questões sócio científicas, nomeadamente, sobre a natureza da ciência e os aspectos sociológicos, políticos, éticos e económicos dos assuntos em causa (Reis 2004). Existem também alguns professores que encaram a discussão como uma perda de tempo

que os impossibilita de cumprir o programa, e outros que evitam a discussão de questões controversas com receio dos eventuais protestos dos encarregados de educação.

A nível dos alunos, também existem dificuldades, em particular, no caso de alunos mais introvertidos, que podem sentir-se intimidados e não conseguem expor a sua opinião perante os colegas. (Reis 2004).

Por fim, os factores da própria escola, como por exemplo o espaço físico da sala de aula, a duração da aula ou o número de alunos, podem ser entraves para a realização de discussões.

2.4. Em Síntese

Atendendo ao enquadramento acabado de apresentar, optei por realizar uma intervenção didáctica, com base numa abordagem CTS, acerca de um tema actual e muitas vezes controverso como a engenharia genética. Actualmente, é de extrema importância que cada cidadão entenda o que são técnicas de engenharia genética, quais as suas aplicabilidades, riscos e segurança. A engenharia genética baseia-se na utilização de tecnologias capazes de alterar o genoma de indivíduos, e por esta razão, levanta inúmeras questões éticas, em particular quando o objectivo é a alteração de genes em humanos. Segundo Reis e Pereira (1998), a abordagem destes temas coaduna-se com uma reflexão e avaliação crítica das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (Reis, 1997; Reis & Pereira, 1998). Aplicando a abordagem CTS em questões de engenharia genética, procurei que os alunos se interessassem pela Ciência e pelo conhecimento científico e que desenvolvessem capacidades de pensamento crítico e criativo utilizando, para isso, metodologias de aprendizagem que promovem a interacção entre os alunos como a tomada de decisão, a discussão em grupo e o debate e discussão de questões controversas. A aplicação destas estratégias, segundo Reis (2004), poderá resultar na aquisição de conhecimentos e no desenvolvimento de competências úteis, tanto no presente como no futuro próximo dos alunos, para a tomada de decisões informadas acerca da utilização das técnicas de engenharia genética nos vários âmbitos onde poderão ser aplicadas.

3. Sequência Didáctica Engenharia Genética: Planificação e Concretização

Neste capítulo descreve-se a sequência didáctica leccionada correspondente à intervenção no âmbito da Prática de Ensino Supervisionada. Inicia-se com a explicitação do conteúdo científico abordado. A segunda secção incide sobre o enquadramento curricular em que a sequência didáctica se insere. Na terceira são descritas as actividades realizadas segundo uma abordagem CTS. Na quarta e última secção são detalhadas as cinco aulas que constituíram a sequência didáctica.

3.1. Conteúdo Científico

Nesta secção, são explicitados os conceitos científicos fundamentais que serviram de base à concepção das actividades CTS: estrutura do ADN, tecnologias de manipulação de ADN, tais como a tecnologia de ADN recombinante e a técnica CRISPR/Cas,

3.1.1 ADN

ADN, ou ácido desoxirribonucleico é uma molécula composta por duas cadeias, enroladas entre si numa dupla hélice, que contém a informação genética que possibilita o desenvolvimento, crescimento e reprodução de todos os organismos vivos. Esta molécula encontra-se presente em todas as células de todos os organismos vivos. (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020a)

A molécula ADN é um polímero composto por diversos monómeros denominados nucleótidos. Cada nucleótido é constituído: por uma base azotada, da qual recebe o seu nome, uma desoxirribose e um grupo fosfato. Existem quatro bases azotadas, adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T) (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020a).

Os nucleótidos encontram-se unidos numa cadeia através de ligações covalentes entre a desoxirribose de um nucleótido e o grupo fosfato do seguinte. Duas cadeias de ADN ligam-se numa dupla cadeia anti-paralela e em dupla hélice através da ligação por pontes de hidrogénio, entre as bases azotadas dos nucleótidos das duas cadeias. As bases azotadas emparelham-se segundo uma regra de emparelhamento, A com T e C com G (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020b) (Figura 1).

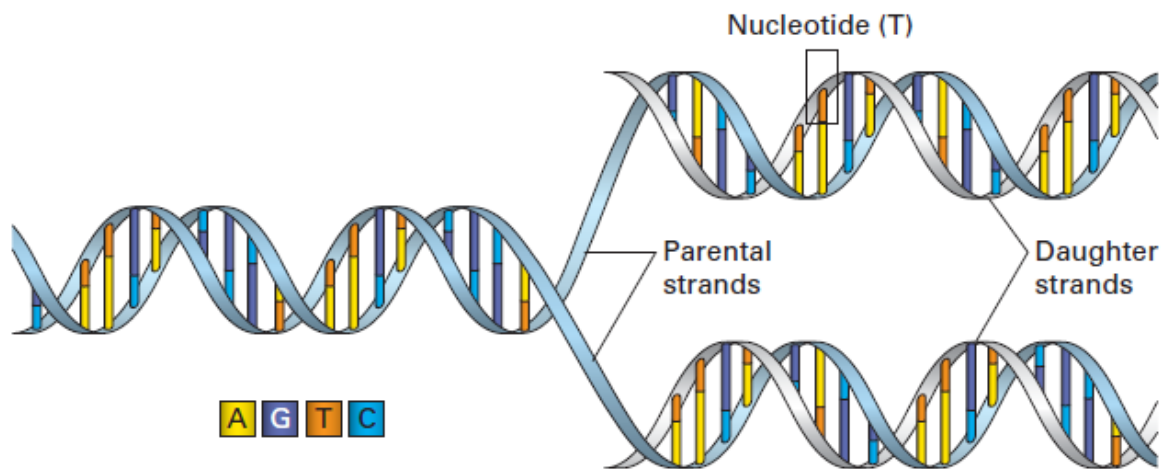


Figura 1. Molécula de ADN. O ADN é uma molécula composta por duas cadeias, enroladas entre si numa dupla hélice, que contém a informação genética que possibilita o desenvolvimento, crescimento e reprodução de todos os organismos vivos. A molécula ADN é um polímero composto por diversos monómeros denominados nucleótidos. (adaptado de Lodish et al., 2008).

Uma importante propriedade do ADN é a sua capacidade de replicação, ou seja, gerar cópias de si mesmo. Estas cópias são semi-conservativas, ou seja, cada cadeia da dupla hélice serve de ponto de partida para a duplicação da sequência de bases (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020c).

Os genes são sequências de ADN que codificam a informação para produzir moléculas funcionais, designadas de proteínas. No ser humano, os genes variam em tamanho desde algumas centenas de bases de ADN até 2 milhões de bases. Estima-se que o ser humano tenha cerca de 20.000 genes. (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020d)

O ácido ribonucleico (ARN) é um ácido nucleico semelhante ao ADN. Contudo o ARN é composto por uma cadeia simples de nucleótidos. Cada nucleótido de ARN é composto por uma base azotada, da qual recebe o seu nome, uma ribose e um grupo fosfato. Existem quatro bases azotadas que se encontram presentes nas moléculas, adenina (A), citosina (C), guanina (G) e uracilo (U). Existem também diferentes tipos de ARN nas células: ARN mensageiro

(mARN), ARN ribossomal (rARN) e ARN de transferência (tARN). Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; NHGRI, 2020e)

3.1.2 Engenharia Genética

O termo engenharia genética é utilizado para descrever todos os procedimentos nos quais a informação genética, presente e codificada pelo ADN, de qualquer ser vivo, na forma de genes, é manipulada de variadíssimas formas de modo a obter um certo objectivo. Estes objectivos podem ser de diversa ordem, como por exemplo a pesquisa básica da estrutura de genes e como é que estes funcionam, até à aplicação dessa manipulação em diagnósticos e tratamentos de doenças (Nicholl, 2008).

As principais questões levantadas pela engenharia genética e pela manipulação de genes são as questões éticas associadas às várias técnicas desenvolvidas até aos dias de hoje. O uso destas técnicas para a produção de organismos geneticamente modificados, a sequenciação do genoma humano, a terapia genética e a clonagem de indivíduos levantam inúmeras questões éticas às quais a sociedade tem tentado responder. Prevê-se que estas questões venham a aumentar, tanto em número como em complexidade.

3.1.3 ADN recombinante

A tecnologia do ADN recombinante compreende a alteração de material genético, fora do organismo, para obter características desejadas em organismos vivos (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008; Khan, Ullah, Siddique, Nabi, Manan, Yousaf & Hou, 2016). Por outras palavras, o ADN recombinante resulta na obtenção de uma molécula de ADN proveniente da combinação de diferentes sequências de ADN. Ao inserir num organismo hospedeiro, o ADN recombinante, podem produzir-se novas combinações genéticas, potencialmente valiosas para a ciência, medicina, agricultura ou indústria (Lodish et al., 2008; Nicholl, 2008).

A manipulação do genoma de um organismo pode ser realizada de diversas formas, através da introdução de um ou vários genes, e os seus elementos reguladores, ou através da diminuição ou bloqueio da expressão de genes endógenos através de genes recombinantes e seus elementos (Khan et al., 2016).

A tecnologia do ADN recombinante, foi uma das primeiras técnicas de engenharia genética a ser desenvolvida, e revolucionou a genética, pois veio permitir isolar genes, ou qualquer segmento de ADN, determinar as suas sequências de nucleótidos, o estudo dos seus

transcritos, a sua modificação de formas altamente específicas e a sua reinserção modificada num novo organismo (Nicholl, 2008).

Um dos pilares da engenharia genética consiste no isolamento e na capacidade de clonar um gene, isto é, obter inúmeras cópias do mesmo gene. Só após este isolamento e multiplicação exponencial, é que são aplicadas as mais diversas manipulações (Nicholl, 2008).

As enzimas de restrição, que têm a capacidade de identificar e cortar o ADN em locais específicos, representam um dos mais importantes grupos de enzimas para a manipulação do ADN. Estas enzimas, são encontradas em células de bactérias onde a sua função faz parte de um mecanismo de defesa designado Sistema de Restrição-Modificação, neste sistema, a enzima de restrição hidrolisa qualquer ADN exógeno que surge no citoplasma da célula (Nicholl, 2008).

Para prevenir a enzima de agir contra o ADN hospedeiro, a enzima modificadora do sistema, a metilase, modifica o ADN hospedeiro, prevenindo assim a enzima de cortar o próprio ADN (Nicholl, 2008).

As enzimas de restrição podem ser de 3 tipos (I, II ou III). As mais usadas são as de tipo II devido ao seu modo de acção mais simples. Estas enzimas de restrição são nucleases e, uma vez que cortam uma posição interna de ADN (e não uma extremidade), são conhecidas como endonucleases. Por este motivo a designação correcta, destas enzimas, é endonucleases de restrição tipo II, no entanto são mais conhecidas apenas por enzimas de restrição (Nicholl, 2008).

A importância das endonucleases de restrição reside na sua especificidade. Cada enzima reconhece uma sequência de bases de ADN específica, normalmente constituída por 4, 5 ou 6 pares de bases de comprimento. As enzimas de restrição e a ADN ligase providenciam as funções de corte e junção, essenciais para a produção de moléculas de ADN recombinante (Nicholl, 2008).

A ADN ligase é uma importante enzima celular, cuja função é reparar as ligações fosfodiéster quebradas durante o processo de replicação ou recombinação do ADN (Nicholl, 2008).

Na engenharia genética são utilizadas quando o ADN recombinante é produzido, na união de moléculas de ADN de diferentes fontes. Esta função é crucial para o sucesso de muitas experiências, e consequentemente torna a ADN ligase uma enzima chave na engenharia

genética. A habilidade de cortar, modificar e ligar moléculas de ADN fornece à engenharia genética a liberdade de criar moléculas de ADN recombinante (Nicholl, 2008).

A clonagem de genes é conseguida através do uso de um vector, que irá transportar a sequência desejada para a célula hospedeira. No processo de clonagem de genes é muito importante escolher o vector ideal e uma cultura de organismos hospedeiros onde o vector se possa multiplicar. Esta escolha, irá depender do propósito do procedimento de clonagem, que pode ser isolar o gene para analisar a sua estrutura ou obter a expressão da informação desse gene em outro organismo (Nicholl, 2008) (Figura 2).

As células hospedeiras ideais devem ser fáceis de manusear e ter um tempo de reprodução curto, devem ter várias estirpes bem definidas geneticamente e devem aceitar um grande número de vectores. Um exemplo que preenche estes requisitos, e utilizado em muitos procedimentos, é a bactéria *Escherichia coli*, sendo esta bactéria o hospedeiro procarionte mais utilizado (Wang, Rao, Gao, Li, Fu, Bi & Wang, 2013).

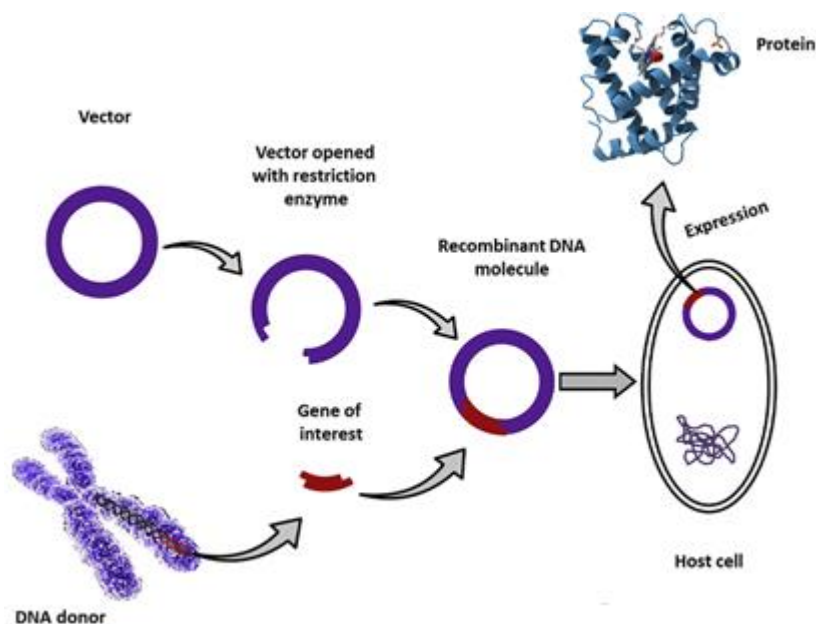


Figura 2. ADN recombinante - O gene de interesse é seleccionado e cortado. A mesma enzima que clivou o fragmento de ADN é utilizada para clivar o vector bacteriano, o que os torna complementares. O vector e o fragmento de ADN posteriormente unidos, graças à acção de uma ligase, dando origem a uma molécula de ADN recombinante. Posteriormente, o ADN recombinante é introduzido numa bactéria hospedeira. (adaptado de Morbioli et al., 2016)

Tal como acontece com os hospedeiros, há requisitos que os vectores devem possuir. Idealmente devem ser moléculas de ADN pequenas, que facilitem o isolamento e o manuseamento. Deve haver uma origem de replicação, isto é, uma sequência de nucleótidos específicos nas quais determinadas proteínas se ligam para realizar a replicação do ADN do vector. Este facto é essencial para que o vector seja replicado e mantido na população celular, à medida que os organismos hospedeiros crescem e se dividem (Nicholl, 2008).

É desejável que haja também, no vector, um marcador selectivo que irá permitir a detecção de hospedeiros que contenham copias funcionais do vector. Além disto, é necessário garantir que haja, pelo menos, um único local reconhecido por uma enzima de restrição específica, de forma a possibilitar a inserção de cadeias de ADN recombinantes (Nicholl, 2008).

Um bom exemplo são os plasmídeos, que possuem estas características e são extensamente utilizados como vectores.

Os plasmídeos são moléculas de ADN não cromossómico, presente nas bactérias e em algumas leveduras (seres unicelulares eucariontes), que não são essenciais para a sobrevivência dos indivíduos. Alguns plasmídeos contêm na sua informação genética, características vantajosas para o organismo, como resistência a certas substâncias antibióticas. Os plasmídeos são moléculas circulares de pequenas dimensões quando comparados com os cromossomas presentes nas células dos organismos unicelulares (Nicholl, 2008).

A resistência a antibióticos, muitas vezes presente nestes plasmídeos, faz com que estes sejam comumente utilizados na construção de vectores de ADN recombinante, uma vez que essa resistência possibilita a selecção de organismos transformados. Quando as células hospedeiras são cultivadas em meios contendo uma determinada substância antibiótica, apenas as células transformadas, contendo o plasmídeo que confere resistência, irão conseguir sobreviver (Nicholl, 2008).

A capacidade de se conseguir obter clones de ADN específicos, utilizando a tecnologia do ADN recombinante, tornou possível transferir ADN de um organismo para o genoma de outro, o gene modificado designa-se de transgene, que é inserido num vector e passa a ser um componente do genoma. O organismo que contém o transgene é designado organismo transgénico ou OGM (Nicholl, 2008).

As primeiras moléculas de ADN recombinante foram geradas em 1973 por Paul Berg, Herbert Boyer, Annie Chang, e Stanley Cohen da Universidade Stanford e da Universidade de São Francisco, na Califórnia. Em 1975, durante a conferência de Asilomar discutiu-se a

regulação e o uso seguro da tecnologia do ADN recombinante. Naquela altura, os cientistas promoviam o uso desta técnica para o desenvolvimento da agricultura e melhorar o fabrico de medicamentos (Nicholl, 2008).

Desde a década de 1980 que o número de organismos geneticamente modificados aumentou continuamente. Foram desenvolvidas hormonas geneticamente modificadas, vacinas, agentes terapêuticos e ferramentas de diagnósticos, para o melhoramento da saúde. Também permitiu o cultivo produtos agrícolas geneticamente modificados para consumo tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. Também proporcionou uma próspera indústria na área da biotecnologia criando vários empregos (Hanna, 1991; Berg, 2008).

Mais recentemente, a tecnologia do ADN recombinante mostrou ser um importante desenvolvimento da ciência e tem tornado a vida humana mais fácil. Permitiu o avanço de estratégias biomédicas como por exemplo, no tratamento do cancro, doenças genéticas, diabetes, distúrbios graves em plantas especialmente a resistência a fungos e vírus (Khan et al., 2016).

3.1.4 CRISPR/Cas

O sistema CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), associado à Cas9 é uma nova ferramenta para a edição de genes que permite fazer alterações precisas em sequências de ADN. Esta técnica revolucionou a engenharia genética, pois permite cientistas manipularem, com precisão, sequências genómicas específicas (Jinek, Chylinski, Fonfara, Hauer & Doudna, 2012; Pennisi, 2013; Zhang, Wen & Guo, 2014).

Actualmente, o CRISPR/Cas9 é a técnica mais utilizada na edição de genes. Esta tecnologia consiste em dois componentes: uma endonuclease de cadeia simples ou dupla, e um ARN guia que irá direccionar o sistema CRISPR/Cas9 à zona pretendida do genoma. A Cas9 é uma endonuclease do tipo II que corta ADN de cadeia dupla (Luo, 2019).

Este método é baseado num mecanismo natural, desenvolvido para proteger células de bactérias contra um organismo estranho, como por exemplo um bacteriófago.

O sistema CRISPR/Cas/Cas9, confere, às células da bactéria, a capacidade de cortar o ADN do bacteriófago no preciso local que corresponde à sequência do CRISPR (Wiedenheft, Sternberg & Doudna, 2012; Nishimasu & Nureki, 2017).

Quando as bactérias são infectadas por um bacteriófago, capturam fragmentos de ADN desse vírus invasor e usam-nos para criar segmentos de ADN, que são armazenados no ADN

da bactéria num local conhecido como CRISPR. O CRISPR permite que as bactérias tenham “memória” desses vírus, e caso sejam infectadas novamente, as bactérias produzem segmentos de ARN (ARN guia), complementar ao ADN viral armazenado. As bactérias ligam esse ARN à proteína Cas-9 que irá cortar o ADN dos vírus, provocando assim a sua destruição (Luo, 2019).

O sistema CRISPR-Cas9 funciona de modo semelhante em laboratório. Os cientistas criam uma pequena sequência de ARN, o ARN guia. O ARN liga-se à enzima Cas9 e este complexo liga-se a uma zona alvo na sequência do ADN do genoma. Tal como nas bactérias, o ARN é usado para reconhecer a sequência de ADN e a enzima Cas9 corta o ADN na zona pretendida (Wiedenheft et al., 2012; Luo, 2019) (Figura 3).

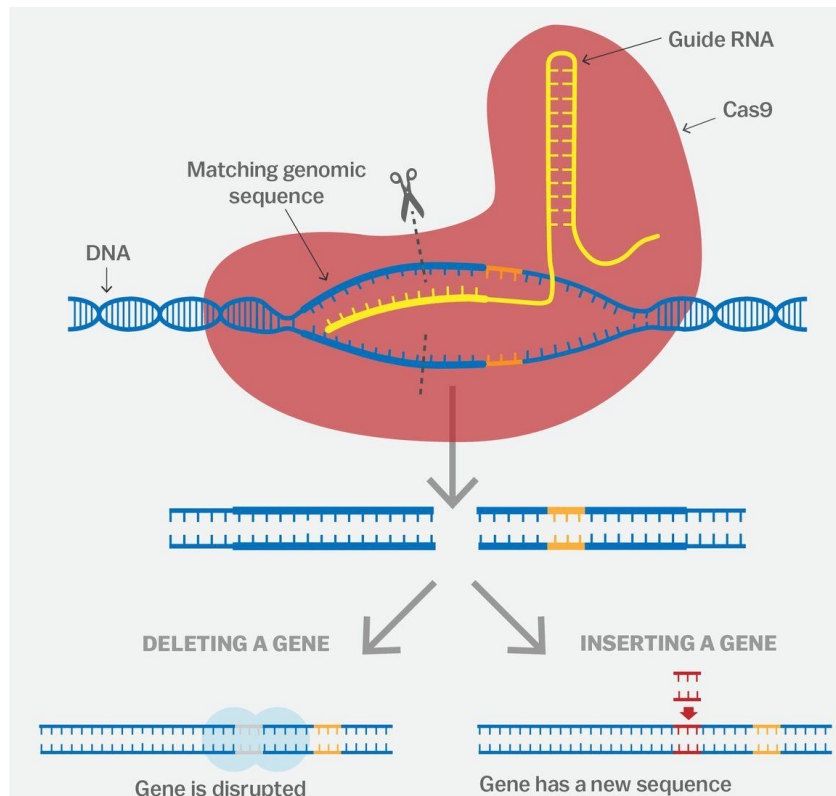


Figura 3. Sistema CRISPR/Cas. – Inicialmente gera-se uma sequência de ARN complementar à sequência de ADN alvo. Quando o ARN alcança a posição pretendida, a enzima Cas9 corta o ADN. Esta quebra é reparada pelos próprios mecanismos de reparação de ADN da célula. (adaptado de Hylton, 2020)

Escolher a nuclease certa é a chave para o sucesso deste método, apesar da enzima Cas9 ser a mais usada existem outras opções (Nihongaki, Otabe, Ueda & Sato, 2019; Safari, Zare, Negahdaripour, Barekati-Mowahed & Ghasemi, 2019; Kleinstiver et al., 2016).

Quando o ADN já está cortado, os cientistas permitem que os próprios mecanismos de reparação de ADN da célula actuem, havendo a possibilidade de ser adicionado, ou eliminado, um ou mais nucleótidos, levando assim à alteração da sequência original (Luo, 2019).

A edição de genoma é um tema de grande interesse na prevenção e tratamento de doenças humanas. Actualmente, a maioria dos estudos sobre edição do genoma é realizada com o intuito de tentar perceber doenças, e é feita através do uso de células e modelos animais. No entanto, os cientistas continuam o seu trabalho para determinar se estas técnicas são seguras e eficazes para serem usadas em seres humanos. São várias as doenças nas quais estas pesquisas são exploradas, tais como a fibrose cística, hemofilia, anemia falciforme. Também se pensa conseguir tratamento e prevenção para doenças mais complexas como o cancro, doenças cardíacas, doenças mentais ou para o HIV (Tebas et al., 2014; Shi, Jiang & Wang, 2017; Geurts et al., 2017).

Quando se fala da edição de genoma, utilizando tecnologias como o CRISPR-Cas9, para alterar o genoma humano levantam-se várias questões éticas. A maioria das alterações no genoma estão limitadas a células somáticas, que afectam alguns tecidos, mas cuja alteração não é transmitida à geração seguinte. No entanto, alterações realizadas em células germinativas, como por exemplo oócitos ou espermatozóides, bem como alterações num embrião, afectariam as gerações futuras. Existem muitas questões associadas a este assunto tal como, se se devia permitir o uso destas tecnologias para melhorar as características humanas, como por exemplo a altura ou inteligência. Devido a estas questões éticas associadas, o uso destas tecnologias é ilegal em diversos países. A Organização Mundial de Saúde implementou recentemente um sistema internacional de registo de futuras investigações com edição de genoma em humanos, de modo a desenvolver padrões globais para a gestão e supervisão da edição do genoma humano (WHO, 2020).

3.2. Enquadramento Curricular

A sequência didáctica leccionada enquadra-se no “Modulo 1 - Reprodução e Património Genético: Fundamentos de engenharia genética” do Programa da disciplina “Biologia” do 12º ano do Ensino Secundário (Ministério da Educação, 2004) e no domínio “Património genético”

segundo o documento descritivo das “Aprendizagens Essenciais de Biologia” do 12.º ano (Ministério da Educação, 2018).

No programa da disciplina de Biologia do 12º ano, destinada a alunos já familiarizados com o estudo desta ciência, é lançado um novo grande tema “A Biologia e os desafios da actualidade” que se organiza em torno do seguinte problema: “Como melhorar a qualidade de vida das pessoas?” (Ministério da Educação, 2004). De acordo com o programa esta é uma pergunta transversal a todas as sociedades e que gera muitas preocupações e angústias, com as quais os alunos se conseguem relacionar. Os alunos são confrontados com a influência que a Biologia e a biotecnologia exercem, actualmente, na vida das pessoas e são convidados a uma reflexão sobre os impactes sociais, económicos, ambientais e éticos dessa influência, e de que forma é que esse impacte influencia a aplicabilidade dessas soluções.

No programa são definidos os objectivos que se pretende que os alunos atinjam (Ministério da Educação, 2004) ao longo do ano lectivo, dos quais destacamos os seguintes por os considerarmos ajustados ao Módulo 1:

- Desenvolver capacidades de pesquisa, análise, organização e avaliação crítica de informação, obtida em fontes diversificadas, assim como competências que permitam a sua comunicação com recurso a diferentes suportes.
- Ponderar argumentos de natureza diversa, sendo capaz de diferenciar pontos de vista e de distinguir explicações científicas de não científicas, com vista a posicionar-se face a controvérsias sociais que envolvam conceitos de Biologia ou Biotecnologia.
- Construir valores e atitudes conducentes à tomada de decisões fundamentadas relativas a problemas que envolvam interacções Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.
- Reconhecer que a construção de conhecimentos de Biologia e de Biotecnologia envolvem abordagens pluri e interdisciplinares.
- Compreender que os processos de investigação em Biologia e Biotecnologia são influenciados pelos problemas que afectam as sociedades em cada momento histórico, assim como pelos seus interesses de natureza política, económica e/ou axiológica.
- Analisar implicações do desenvolvimento da Biologia e das suas aplicações tecnológicas na qualidade de vida dos seres humanos.

Em relação ao módulo do *Património Genético: Fundamentos de engenharia genética*, o programa curricular do 12º ano, define, como conteúdos procedimentais a serem apreendidos pelos alunos, a análise de procedimentos laboratoriais de manipulação de ADN, com vista à compreensão global de processos biotecnológicos envolvidos, a interpretação de esquemas e modelos explicativos de obtenção de cópias de genes (ADNc), a partir do mARN correspondente, e a avaliação da importância biológica das endonucleases de restrição. Como conteúdos atitudinais, o programa define a apreciação crítica do papel desempenhado pelos *media* na divulgação dos avanços da ciência e da tecnologia e a reflexão sobre as implicações biológicas e sócio éticas que decorrem da obtenção de organismos geneticamente modificados. Para a aprendizagem destes conteúdos, o programa apresenta algumas sugestões metodológicas como a “Interpretação de procedimentos laboratoriais de manipulação de DNA e respectivos resultados” e “Discussão de casos com impacte social sobre a produção de Organismos geneticamente modificados (OGM)” (Ministério da Educação, 2004).

Já no documento sobre as aprendizagens essenciais referentes à Biologia 12º Ano (Ministério da Educação, 2018) destaca-se, como aprendizagens essenciais elencadas ao domínio Património Genético, que os alunos sejam capazes:

- Explicar fundamentos básicos de engenharia genética utilizados para resolver problemas sociais.
- Interpretar informação sobre processos biotecnológicos de manipulação de ADN (obtenção de ADNc, amplificação de amostras de ADN por PCR, impressão digital genética, transformação genética de organismos).
- Avaliar potencialidades científicas, limitações tecnológicas e questões bioéticas associadas a casos de manipulação da informação genética de indivíduos (diagnóstico e terapêutica de doenças e situações forenses).
- Planificar e realizar actividades práticas (ex. pesquisa de informação, entrevistas a especialistas, actividades laboratoriais ou exteriores à sala de aula, organização de exposições ou debates) sobre manipulação de ADN.

Como acções estratégicas de ensino orientadas para o perfil dos alunos, o documento sugere a aplicação de estratégias que induzam os alunos à aceitação de pontos de vista diferentes, ao respeito pelas crenças culturais de opiniões dos colegas; à síntese e organização pertinente; à planificação e monitorização de tarefas; ao estudo autónomo; à problematização

de situações; à formulação de questões para terceiros sobre conteúdos estudados ou a estudar; à interrogação sobre o seu próprio conhecimento; à apresentação de ideias, questões e respostas, com clareza; a uma auto-análise com identificação de pontos fracos e fortes das suas aprendizagens, numa perspectiva de auto-aperfeiçoamento; à integração de feedback de pares para melhoria ou aprofundamento de saberes e reorientação do seu trabalho, individualmente ou em grupo, a partir de feedback do professor.

O ensino da disciplina de Biologia no ano terminal do curso de Ciências e Tecnologia do Ensino Secundário, assume uma importância extrema na educação científica e cívica dos alunos, que irá contribuir no sustentar de decisões dos alunos, em relação ao prosseguimento de estudos nesta área ou outras semelhantes, e também na preparação dos alunos para as tomadas de decisões de questões científico-tecnológicas futuras, as quais exigirão a sua compreensão, para que sejam capazes de ponderar criticamente uma tomada de decisões e antever como e que essas questões poderão afectar a sociedade e o ambiente (Ministério da Educação, 2018).

3.3. Sequência Didáctica: Actividades e Estratégias

A introdução de temáticas CTS controversas gera nos alunos um maior interesse do que as questões não controversas (Chen & Stroup, 1993; McGinnis & McDonald, 2011; Sadler & Dawson, 2012). Para tal, procurei introduzir uma temática controversa em que fosse possível, aos alunos, observar nitidamente as implicações das relações Ciência, Tecnologia e Sociedade. O tema escolhido foi a edição de genes em humanos. Durante esta intervenção, procurei utilizar estratégias de ensino que possibilitassem aos alunos aprender acerca dos fundamentos da engenharia genética, e, também, desenvolver uma visão mais ampla da Natureza da Ciência, de como a ciência se constrói e de que como afecta e é afectada pelos contextos social, político e cultural em que se insere (Moura, 2014). Procurei, também, utilizar diversas estratégias didácticas, associadas à abordagem CTS (Hofstein, Aikenhead, & Riquarts, 1988), das quais destaque: (a) a visualização de vídeos, para a compreensão dos conceitos, bem como para suscitar o interesse dos alunos na temática a abordar; (b) a realização de uma discussão aberta em turma; (c) a presença de um especialista como orador externo à sala de aula; e (d) a elaboração de um poster científico em pequeno grupo.

3.3.1. Visualização de vídeos

A visualização de vídeos, em sala de aula, tem sido amplamente e crescentemente utilizada nos últimos anos e tem sido descrita como um método eficaz de aprendizagem. Berk (2009) relaciona esta eficácia com a capacidade de o vídeo gerar, nos alunos, uma série de emoções, tais como zanga, amor, excitação ou até aborrecimento. Essas emoções não são intensas o suficiente para que contaminem a apreensão de conhecimentos, resultando assim numa maior aprendizagem. O autor refere, ainda, que a visualização de vídeos em sala de aula capta a atenção dos alunos, gera interesse e antecipação em relação à aula, cria imagens visuais memoráveis, e pode tornar a aprendizagem divertida, estabelecendo uma disposição para aprender.

Rackaway (2012) conclui no seu estudo que a utilização de material multimédia, em sala de aula, deve ser encorajada devido à sua capacidade de captar a atenção e interessar os alunos. Refere, também, que o recurso a materiais multimédia é facilmente conjugável com outras estratégias de ensino, facilitando a sua utilização pelos professores.

Inicialmente procedi à visualização de um vídeo para introduzir a temática da engenharia genética. O vídeo escolhido foi “A Engenharia Genética Mudará tudo para Sempre – CRISPR”¹, produzido por um canal do Youtube, sediado em Munique, que se dedica a explicar temáticas e a mostrar factos científicos, através de conteúdos educacionais animados, com recurso a ferramentas de *design*, cor e *storytelling*. Esta forma distinta de apresentação, capta a atenção de quem a visualiza e tem como grande objectivo aumentar a compreensão de tópicos do campo da ciência, tecnologia e biologia.

Neste vídeo, os autores introduzem a engenharia genética e abordam ligeiramente a sua história de uma forma divertida e animada, mas também de uma forma cientificamente assertiva. O vídeo levanta bastantes questões éticas e ideias, para que os próprios alunos as comecem a colocar no início da intervenção.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=jAhjPd4uNFY>

O segundo vídeo utilizado foi o documentário Designer ADN, da série documental “Explained” disponibilizada no serviço de *streaming* Netflix. Neste vídeo é introduzido o tema da edição genética em humanos, focada na técnica CRISPR/Cas. O documentário apresenta os testemunhos de vários especialistas, de várias áreas da ciência e da sociedade, e discute as controvérsias éticas por detrás da manipulação genética. É estabelecido um referencial bioético, dividido em 4 campos, que poderá ser útil para iniciar uma discussão (Figura 4).

	Somatic	Germ-line
Treatment of disease	Somatic therapy I	Germ-line therapy II
Enhancement of capabilities	Somatic Enhancement III	Germ-line enhancement IV

Figura 4. Campos de intervenção genética.

Modificar a linha germinativa pode colocar em risco a dignidade dos seres humanos, pois o problema de passar este limite poderá significar a ausência de limites. A linha que separa a terapia do melhoramento é cada vez menos nítida.

Este episódio levanta questões interessantes. Após uma breve introdução da técnica CRISPR/Cas, o vídeo apresenta uma divisão dos tipos de edição genética. Num lado, está a edição genética de células somáticas (por exemplo células sanguíneas ou células da pele), ou seja, células cujo DNA não é transmitido à descendência, no outro lado temos a edição genética de células germinativas (óvulos, espermatozoides), cujo DNA é transmitido para a descendência. Alterações nas células germinativas irão influenciar o futuro da nossa espécie, e neste momento do vídeo é introduzida a questão “Qual o objectivo da edição genética: terapia ou aperfeiçoamento?”

A visualização dos vídeos mencionados constituiu uma introdução ao tema da engenharia genética, mas também foi uma oportunidade de avaliar os seus contributos para as aprendizagens, assim como para cativar os alunos e aumentar a sua curiosidade e interesse nesta temática.

3.3.2 Debate e Discussão sobre Engenharia Genética

Aquando da planificação desta intervenção, foi delineado, como objectivo, a realização de um debate em sala de aula, no qual os alunos, divididos em grupos, teriam de defender uma de duas teses “A edição de genes em humanos é eticamente aceitável” ou “A edição de genes em humanos é eticamente reprovável”.

Os alunos seriam informados, uma semana antes, da ocorrência do debate, e teriam de se organizar em pequenos grupos, até quatro elementos, e de se preparar para defender as teses apresentadas.

No dia do debate, seria sorteada qual a tese que cada grupo teria de defender, o que iria implicar que todos os grupos preparassem, previamente, argumentos a favor e argumentos contra cada uma das teses. Escolhi um debate porque o colégio realiza um concurso anual de debates e tentei que este, nas aulas de Biologia, fosse o mais semelhante possível ao do colégio. Parti do pressuposto que, assim, iria alcançar uma melhor aceitação da estratégia, por parte dos alunos, uma vez que se assemelhava a algo que estes já conheciam e em que já tinham participado.

Contudo, à medida que a intervenção se foi desenrolando, e após a realização dos grupos focais, eu e o professor cooperante optámos por modificar esta estratégia para uma discussão aberta. Esta decisão deveu-se, sobretudo, ao facto de se tratar de um tema sensível e muito controverso e de poder gerar desconforto nos alunos, talvez até sentimentos de revolta, por serem encarregues de defender um ponto de vista com o qual não concordassem. Além disso, também nos apercebemos de que a maioria dos alunos ainda não tinha uma opinião bem estruturada sobre o tema. Por estes motivos, uma discussão serviria melhor os objectivos de ajudar os alunos a compreender melhor o tema em debate e as repercussões que estas tecnologias podem trazer à nossa sociedade (Simonneaux, 2001; Proulx, 2004). Além disso, ao avaliar as intervenções dos alunos, nas aulas anteriores ao debate, apercebemos-mos de que a turma apresentava um leque muito amplo de opiniões quanto à utilização da engenharia genética, havendo alunos que a temiam e alunos que depositavam elevadas esperanças nessas técnicas, ao ponto de as considerarem capazes de resolver bastantes problemas actuais da humanidade.

Como Dillon (1994) afirma no seu livro, a discussão difere do debate, porque não opõe duas teses uma contra a outra, nem espera definir qual a tese correcta. A discussão visa, acima

de tudo, a partilha de opiniões e argumentos sobre um determinado tema, para o compreender melhor e alcançar uma posição, acerca do tema discutido, mais firme e sustentada.

A realização de discussões pode ser feita com recurso a desenvolvimentos científicos recentes, envoltos em controvérsia e discussão. A discussão de temas controversos possibilita que os alunos conquistem uma visão mais real do que é a ciência, levando-os a desacreditar que a ciência é um conhecimento incólume e intocável, e a considerá-la mais como um empreendimento humano contruído a partir das relações complexas entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (Reis 2004).

Assim, a aula de discussão foi planeada para se iniciar com a visualização do documentário Designer ADN, da série documental *Explained*. Este documentário serviu para introduzir aos alunos o tema da edição de genes em humanos, bem como apresentar-lhes alguns dos desafios éticos que esta tecnologia apresenta. Em seguida os alunos foram convidados a partilhar as suas opiniões sobre este tema e a ponderar uma posição atendendo aos quatro quadrantes apresentados na figura 4, fundamentando a sua opinião. Com esta estratégia pretendia avaliar de que forma uma discussão aberta sobre este tema pode auxiliar os alunos a compreender melhor as complexas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e simultaneamente perceber qual o contributo da formulação de argumentos, que requerem a mobilização de conhecimentos científicos, para a aprendizagem dos conceitos leccionados.

3.3.3. Entrevista a um cientista

A vinda de oradores externos à sala de aula, especialistas no tema abordado, é uma estratégia comum em abordagens CTS (Hofstein et al.,1988, Ogens, 1991) que promove o interesse dos alunos e oferece uma visão mais real e fidedigna do tema. A vinda de oradores externos e a elaboração de questões para esse mesmo orador, por partes dos alunos, é uma estratégia aconselhada tanto pelo programa curricular de Biologia de 2004, como pelo documento das aprendizagens essenciais. (Ministério da Educação, 2018).

A vinda de um cientista à sala de aula, oferece aos alunos um contacto directo com uma profissão científica e ajuda a estabelecer uma ligação entre a sala de aula e o mundo real, além de manter os alunos interessados e envolvidos (Spier-Dance, 2003).

Durante a minha intervenção veio um biólogo à sala de aula para discutir o tema CRISPR/Cas-9 com os alunos. Esta estratégia visou, acima de tudo, dar a conhecer aos alunos o dia-a-dia de um cientista e oferecer-lhes mais detalhes e informações sobre a utilização desta

técnica. Partiu-se do pressuposto que os alunos poderiam compreender que o trabalho de um cientista é um processo longo e demorado, que requer muitas repetições de procedimentos, constantes ajustes nas técnicas utilizadas e uma grande dose de experimentação. Pretendia-se que o cientista convidado apresentasse, um pouco, o seu trabalho desenvolvido com esta técnica, seguindo-se um momento para os alunos colocarem questões acerca do seu trabalho, da técnica utilizada e outras questões que acharem pertinentes.

3.3.4. Pósteres científicos em contextos de aprendizagem da Ciência

Os pósteres são cada vez mais, na comunidade científica, uma forma eficaz e atractiva dos cientistas comunicarem os seus trabalhos e descobertas à comunidade. Os pósteres científicos são uma forma apelativa e sintetizada de informar quem os observa sobre o trabalho desenvolvido numa dada investigação e divergem dos restantes tipos de pósteres pela sua objectividade e textos bem estruturados. Um poster científico apresenta, no geral, seis componentes importantes: título, introdução, materiais e métodos, resultados, conclusões e referências. (Hay & Thomas, 1999)

A apresentação de pósteres desenvolve competências de comunicação oral e a capacidade de planear, preparar e apresentar informação de forma visual (Kerr, Murray, Moore & Nonhebel, 2000). Adicionalmente, promove as aprendizagens dos alunos a comunicar através de imagens, que são poderosos instrumentos de comunicação (Watson & Lom, 2008). A apresentação de pósteres origina, ainda, uma discussão sobre os mesmos, pela turma, o que pode ser bastante enriquecedor na apreensão de conhecimentos e no desenvolvimento de competências. Para auxiliar os alunos a produzirem os seus próprios pósteres, o professor pode mostrar pósteres elaborados anteriormente ou entregar um “esqueleto básico” a ser preenchido pelos alunos. É extremamente importante que na elaboração dos seus primeiros pósteres, os alunos sejam cuidadosamente acompanhados pelo professor, para que estes desenvolvam a capacidade de rastrear que informação é pertinente colocar nos pósteres (Chan, 2011). Este acompanhamento também pode ser realizado através da revisão dos pósteres pelos restantes alunos da turma, o que pode originar uma maior aprendizagem por parte de todos os alunos envolvidos, mas deve ser cuidadosa para que não aconteçam avaliações enviesadas ou que esta estratégia não conduza a conflitos entre os alunos (Pearce, Mulder & Baik, 2009). Chan (2011), também sugere que a elaboração de pósteres pode ser feita em pequenos grupos, o que não só

diminui o tempo e recursos gastos na elaboração e impressão, como também permite aos alunos desenvolverem competências de trabalho em grupo.

No âmbito da sequência didáctica e relativamente a esta estratégia de elaboração e discussão de pósteres, os alunos foram desafiados a organizarem-se em pequenos grupos para a realização de um trabalho, foram convidados a escolher um artigo científico, acerca de uma aplicação de uma tecnologia de engenharia genética, e a realizar um póster de cariz científico que resumisse esse artigo e o apresentasse de forma criativa e sucinta. Este era um projecto arrojado, uma vez que convidava alunos do ensino secundário a debruçarem-se sobre técnicas científicas sofisticadas e sobre as quais não compreendiam todos os conceitos abordados. Contudo, este desafio surgiu na esperança de que a participação neste trabalho de grupo os pudesse ajudar a desenvolverem competências necessárias à pesquisa de informação e ao seu processamento a partir da análise de artigos científicos, assim como incentivá-los a trabalharem de forma autónoma. A elaboração do póster científico visava, também, possibilitar aos alunos o desenvolvimento das suas capacidades de comunicação a nível oral, gráfico e escrito e fomentar competências de cooperação e comunicação entre pares. Simultaneamente a realização desta actividade visava proporcionar aos alunos uma visão de como é comunicada a ciência entre os cientistas, dando a conhecer aos alunos algumas das formas de como essa comunicação é realizada e convidando-os a produzir algo de carácter semelhante.

3.3.5. Recursos Digitais

Durante a intervenção, foram usados alguns recursos em sala de aula que foram de extrema importância para o sucesso da mesma. O uso de computadores foi quase constante em todas as aulas da intervenção, além do professor, todos os grupos de trabalho dos alunos dispunham de um computador. Alguns alunos optaram por trazer os seus computadores portáteis pessoais para realizarem as pesquisas e pósteres. Esses computadores tinham todos acesso à internet, o que foi crucial para as pesquisas realizadas em sala de aula.

O uso da plataforma *Youtube* e o serviço de *streaming* de vídeo *Netflix* também foram usados para a projecção de vídeos durante as aulas.

3.4. Descrição da Sequência Didáctica

A intervenção decorreu ao longo de 5 aulas. A turma estava dividida em dois turnos (T1 e T2). O turno 1 tinha aula à 2ª feira das 13h50 às 15h50 e o turno 2 tinha aula à 4ª feira das

10h50 às 12h50. À 6ª feira os dois turnos estavam juntos das 9h30 às 10h30. A tabela 1 indica a organização, as datas, o tema e as actividades realizadas em cada aula.

Tabela 1 - *Planificação da intervenção*

Aula	Data	Horário	Tema	Actividades
1	13 de Março de 2019	T1 4ª feira 10h50-12h50	Introdução à Engenharia genética	- Visualização do vídeo: “ <i>A Engenharia Genética Mudará tudo para Sempre—CRISPR</i> ” - Análise de pósteres científicos - Pesquisa de artigos científicos
	18 de Março de 2019	T2 2ª feira 13h50-15h50		
2	20 de Março de 2019	T1 4ª feira 10h50-12h50	Técnicas de Engenharia Genética	Pesquisa e leitura de artigos científicos
	25 de Março de 2019	T2 2ª feira 13h50-15h50		
3	29 de Março de 2019	T1/T2 6ª feira 9h30-10h30	Técnica CRISPR/Cas9 - Entrevista a um cientista!	-Entrevista a um cientista
4	1 de Abril de 2019	T2 2ª feira 10h50-12h50	Discussão: Devemos alterar os nossos genes?	- Visualização do documentário Designer DNA - Discussão em turma
	3 de Abril de 2019	T1 4ª feira 13h50-15h50		
5	6 de Maio de 2019	T2 2ª feira 10h50-12h50	Apresentação de pósteres científicos	- Apresentação dos pósteres científicos
	8 de Maio de 2019	T1 4ª feira 13h50-15h50		

Em apêndice constam as planificações de cada aula (Apêndice 8.1) .

Na próxima subsecção segue a descrição sumária das cinco aulas e acompanhada de breve reflexão sobre as mesmas.

3.4.1. Aula 1: “Introdução à Engenharia genética”

Cada uma das aulas (2 turnos) iniciou-se normalmente, a maioria dos alunos foi pontual e à hora do toque encontravam-se sentados nas suas bancadas do laboratório. Comecei com uma pequena apresentação oral do que seria a minha intervenção durante as próximas semanas. Tive o cuidado de relembrar e explicar o tema sobre o qual iria incidir a minha intervenção, bem como enunciar quais as estratégias e actividades que iríamos realizar. Realcei, em particular, que iriam produzir durante a intervenção um trabalho de pesquisa, em pequenos grupos, que iria ser exposto na Feira da Ciência do Colégio. A maioria dos alunos reagiu com entusiasmo, apesar de neste ponto da aula eu ainda não ter revelado concretamente o que seria o resultado do trabalho de pesquisa.

Em seguida, liguei o projector e expliquei que iríamos ver um pequeno vídeo que lhes iria dar alguma informação sobre o que era isto da “engenharia genética”. Alertei para o facto de o vídeo, apesar de bastante animado, ser um vídeo sério, e que lhes iria levantar muitas questões. Pedi que tomassem notas dessas questões para, no fim, podermos todos discuti-las. A visualização do vídeo correu normalmente nos dois turnos, no entanto a maioria dos alunos não tomou nota das questões que foram surgindo. Durante a visualização do vídeo foram notórias algumas reacções mais efusivas a alguns tópicos abordados, tais como a edição de genes em embriões humanos, em concreto quando o vídeo referiu as tentativas realizadas por cientistas chineses de alterar genes de embriões humanos. Isto deveu-se a, e alguns alunos dos dois turnos referiram isso, ter sido noticiado em Novembro que cientistas chineses alegaram terem sido capazes de alterar geneticamente embriões e que estes tinham nascido saudáveis. Outra situação que resultou em reacções de espanto notórias, por parte dos alunos, foi a possibilidade de tais técnicas poderem ser usadas em países com regimes governamentais totalitários. Alguns alunos ficaram ainda visivelmente espantados e entusiasmados com as possibilidades terapêuticas das técnicas de engenharia genética, bem como as suas possíveis aplicações na obtenção de alimentos geneticamente modificados.

Assim que o vídeo terminou, os dois turnos reagiram de forma muito semelhante bombardeando com perguntas como “o professor acha mesmo isto possível?”, “isto é mesmo assim tão revolucionário?” Pegando nestas questões tentei que se iniciasse uma breve discussão sobre os temas abordados, alguns alunos referiram que apesar de serem técnicas promissoras e com grandes potencialidades para o ser humano, nunca tinham pensado que poderiam também ser perigosas e levantar questões éticas. Alguns alunos também referiram que achavam

incorrecta a utilização destas técnicas em qualquer ser vivo, referindo que não eram coisas naturais e que o ser-humano poderia estar a “brincar com o desconhecido”.

Quando faltavam cerca de 45 min para o final da aula demos por terminada a discussão e apresentei mais concretamente o trabalho de pesquisa. Expliquei à turma que teriam de formar grupos de 2 a 4 elementos e que cada grupo teria de pesquisar um artigo científico, que testasse a utilização de uma técnica de engenharia genética, e de redigir um resumo desse artigo sob a forma de póster científico, que seria depois apresentado e afixado na feira da Ciência do Colégio. Em seguida, expliquei aos alunos o porquê de ter escolhido estas estratégias, expliquei que possivelmente iriam ter contacto com artigos científicos se seguissem estudos na universidade e que são um dos maiores alicerces da comunicação em ciência. Avisei que estes continham conceitos e termos, que para eles eram desconhecidos e que para tal seria necessário fazer muita pesquisa em casa para que as dúvidas que pudessem surgir, durante a pesquisa e leitura dos artigos, pudessem ser esclarecidas em sala de aula. Em seguida, coloquei a seguinte questão, “Se os artigos são um dos alicerces da comunicação científica porque é que iremos fazer os pósteres?” que suscitou uma breve discussão sobre quais seriam as vantagens e desvantagens dos pósteres em relação aos artigos. Por fim, projectei alguns exemplos de pósteres científicos e analisámos, em conjunto, a sua estrutura base, bem como a sua estética e a informação que continham. Informe também que, no dia 29 de Março, viria um cientista à nossa aula falar com eles sobre a técnica do CRISPR/Cas-9, disse à turma que cada grupo de trabalho deveria trazer algumas questões sobre o trabalho do cientista e a sua visão pessoal sobre este tema para colocarmos na entrevista. A análise de pósteres científicos só aconteceu com o turno 1, no dia 13 de Março, pois no dia 18 o turno 2 teve de sair mais cedo devido a um teste que tinham na aula seguinte. O tempo que restou no turno 1, foi dedicado à formação dos grupos e ao início das suas pesquisas de artigos científicos sobre possíveis técnicas e aplicações de engenharia genética que pudessem trabalhar.

3.4.2. Aula 2: “Técnicas de Engenharia Genética”

As aulas em ambos os turnos iniciaram-se à hora prevista e dentro da normalidade. Assim que todos os alunos estavam presentes, indiquei que se distribuíssem pelos seus grupos e se colocassem à frente dos computadores para iniciarem as suas pesquisas. Coloquei no

quadro vários exemplos de motores de busca e bases de dados nos quais poderiam realizar as suas pesquisas como a National Center for Biotechnology Information² e o Google académico³.

Nos primeiros momentos da pesquisa fiz uma ronda pela sala de aula onde procurei tomar nota dos vários grupos já formados e quais as técnicas sobre as quais iriam trabalhar.

Depois desta primeira ronda, realizei uma segunda ronda na qual procurei ajudar os grupos mais indecisos sobre qual a técnica em que se iriam focar. Nesta fase, revelou-se que a maioria dos grupos queria realizar o seu trabalho sobre a técnica CRISPR/cas9, devido a ser a técnica mais bem explicada no vídeo da aula anterior e ter sido a que despertou mais interesse. Nesta fase do trabalho, apercebi-me que muitos alunos se sentiam desanimados e frustrados com a percepção de que o trabalho era demasiado complexo para o seu nível de escolaridade, uma das razões era o facto de se depararem com extensos textos em inglês. Contudo, outros alunos estavam bastante interessados e chamavam-me, frequentemente, para me mostrarem artigos com aplicações de engenharia genética, que eles nunca acharam possíveis.

Nesta aula, foi bastante difícil conseguir dar resposta e a atenção que cada grupo precisava e foi necessário tentar animar e chamar a atenção de alguns grupos que não estavam tão empenhados na pesquisa.

No final da aula, a maioria dos grupos já tinha um artigo definido sobre o qual iriam trabalhar

3.4.3. Aula 3: “Técnica CRISPR/Cas9 - Entrevista a um cientista!”

Nesta aula estiveram presentes os dois turnos. Foi notório o esforço da parte de um dos turnos da turma, uma vez que a esta hora tinham aula de substituição de matemática (devido a não terem tido aula de matemática no dia da exposição *Inspiring Future*), apesar disso, alguns alunos optaram por ir à aula de Biologia para poderem estar presentes na entrevista.

O cientista convidado iniciou a aula com uma pequena exposição acerca da tecnologia CRISPR/Cas-9, trazendo várias imagens e vídeos do seu trabalho de investigação, e frequentemente interrogando os alunos para irem participando na aula. A maioria dos alunos interagiu, sem problemas, e foram colocadas diversas questões. No final da apresentação houve espaço para que os grupos colocassem as perguntas que deveriam ter sido previamente elaboradas, contudo a maioria dos grupos não tinha preparado nenhuma questão. A maioria das

² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

³ <https://scholar.google.pt/>

questões incidiram acerca de possíveis limites para a aplicação dessa técnica, quais as suas possíveis aplicações para a saúde humana. Houve um grupo, em particular, que questionou sobre a ética de utilizar aquela técnica em células de humanos e depois mais especificamente em embriões. Outras das questões colocadas referiam-se mais a técnicas e práticas sobre o funcionamento da proteína Cas-9 e a sua origem, que resultou numa interessante interacção alunos-cientista sobre a evolução das bactérias com a proteína Cas-9. Alguns alunos inquiriram sobre como é trabalhar com esta técnica, e alguns mostraram-se espantados pela demora na obtenção de resultados e pelo facto do trabalho desenvolvido pelo cientista convidado, ter um carácter mais exploratório da eficácia e potencialidades daquela técnica e não ter produzido, na óptica dos alunos, nada em concreto.

A entrevista, na minha opinião, foi um sucesso, a maioria dos alunos estava muito curiosa e queria aprender mais sobre este tema e sobre as suas aplicabilidades. Alguns alunos surpreenderam-me pelo tipo e complexidade das questões que colocaram.

3.4.4. Aula 4: “Discussão: Devemos alterar os nossos genes?”

A aula do dia 1 de Abril, com o turno 1 começou com uma dificuldade em ligar a coluna correctamente ao computador, o que atrasou o início dos trabalhos.

As aulas em ambos os turnos iniciaram-se com a visualização do documentário Designer DNA da série documental “*Explained*”. Este documentário introduz, de forma explícita, as questões éticas da utilização da tecnologia CRISPR, na edição de genes em seres humanos. O documentário exhibe um referencial bioético (Figura 4) que divide a edição de genes em humanos em 4 campos: alteração de células somáticas para tratamento de doenças, alteração de células somáticas para aperfeiçoamento de capacidades, alteração de células germinativas para tratamento de doenças e alteração de células germinativas para aperfeiçoamento de capacidades. É introduzida esta problemática bioética, ao mesmo tempo que traz ao espectador uma série de testemunhos de cientistas de áreas, como a biologia e a sociologia, mas também testemunhos de especialistas em direito e uma activista dos direitos de pessoas com deficiência. Além de todas as informações e testemunhos, o documentário cria uma espécie de sensação de urgência quanto à tomada de posição nesta questão, lembrando que tudo nesta tecnologia tem avançado a passos largos e compara-a à revolução digital.

Após a visualização do documentário, deu-se início à discussão. Para que tudo ocorresse da forma mais organizada possível, desenhei no quadro o referencial bioético exibido no

documentário, e convidei cada um, à luz daquilo que tinha aprendido nas aulas e relacionando com os seus valores, a posicionar-se num daqueles quadrantes, sempre que possível justificando a sua posição. Os dois turnos revelaram algum receio e vergonha, mas a partir do momento em que alguns alunos começaram a falar, a discussão começou a fluir e a surgir naturalmente.

No turno de dia 1 de Abril, a maioria dos alunos posicionou-se no quadrante da alteração de células somáticas para o tratamento de doenças, justificando, na sua maioria, que era aí que estava a verdadeira utilidade destas técnicas para o ser humano. Alguma parte destes alunos, afirmava que poderia mudar a sua posição para o quadrante da alteração de células germinativas para o tratamento de doenças, desde que não houvesse uma utilização exagerada de zigotos fecundados a serem descartados. Outros alunos colocaram-se nos quadrantes da alteração de células somáticas, tanto para o tratamento de doenças, como para o aperfeiçoamento de capacidades, argumentando que a possibilidade de o aperfeiçoamento de capacidades não resultar num “automático” melhoramento da saúde, mas que, entre outros aspectos, poderia tornar as pessoas mais felizes ou melhor preparadas para os seus empregos.

Foram dados exemplos como “atletas de competição poderiam utilizar estas técnica para conseguirem melhores resultados” ou “haveria pessoas que se calhar poderiam deixar de usar óculos, através desta técnica, ou simplesmente passar a ter olhos azuis em vez de olhos castanhos, se isso as fizesse mais felizes”. Um aluno referiu a possibilidade de utilizar esse aperfeiçoamento de capacidades, para possibilitar futuras explorações espaciais. Um aluno colocou-se em todos os quadrantes dizendo que, desde que fosse assegurada a segurança da utilização destas técnicas e que não fossem entregues a governos autoritários e totalitários, na sua opinião, os pais poderiam decidir que aperfeiçoamentos poderiam conceder ao seu filho ou até a cor dos olhos ou o tipo de cabelo. Esta posição gerou muita controvérsia com alguns alunos a mostrarem-se chocados com a posição do colega. Assim que este aluno expôs a sua opinião gerou-se uma discussão entre os vários alunos que discordavam e o próprio. Deixei a discussão prosseguir normalmente, não estava a haver nenhuma falta de respeito entre os alunos, mas sim uma discussão calma e lógica. A maioria dos argumentos centrou-se na validade da decisão dos progenitores de alterarem os genes dos seus filhos. Muitos dos alunos advogavam que os pais não deveriam ter poder de escolha sobre a genética do filho, contudo, alguns alunos defendiam que, apesar de compreender a importância de decidir quais os genes a alterar no futuro de uma criança, os pais normalmente já tomam imensas decisões pelos seus filhos que comprometem o seu futuro, como em que escola andar, qual a sua dieta, qual a zona onde vão viver, etc. Assim

que a discussão se tornou repetitiva e sem benefícios para a aula, forcei que esta cessasse e convidei os alunos que ainda não tinham dado a sua opinião, a dá-la.

Após todos os alunos terem dado a sua opinião, falámos um pouco sobre os trabalhos de pesquisa e alguns alunos aproveitaram para tirar dúvidas sobre os seus artigos e sobre os pósteres.

No turno de dia 3 de Abril, a maioria dos alunos também se posicionou no quadrante da alteração de células somáticas para o tratamento de doenças, contudo, um número consideravelmente maior, em relação ao turno anterior, considerava que, mediante certas condições, também poderiam ser utilizadas técnicas de alteração de genes em humanos, tanto em células germinativas para o tratamento de doenças, como em células somáticas para o aperfeiçoamento de capacidades.

Este turno, ao contrário do turno 1, focou as suas questões éticas no impacto que a alteração de genes em células germinativas de humanos poderia ter na humanidade e no mundo. Muitos alunos referiram que a alteração de uma simples base azotada de ADN poderia desencadear uma serie de alterações muito difíceis de prever.

3.4.5. Aula 5: “Apresentação de pósteres científicos”

A feira da ciência, data na qual iriam ser apresentados os pósteres, não se realizou, e por este motivo eu e o professor cooperante tivemos de optar por novas datas para as apresentações. Definimos que iriam ser adiadas para depois das férias da Páscoa e da viagem de finalistas, ou seja, para Maio e iriam ser realizadas com a turma separada nos respectivos turnos (T1 e T2).

As aulas começaram normalmente, os alunos chegaram a horas com as suas *pens* e os seus apontamentos na mão. Era perceptível que estavam ligeiramente nervosos.

Antes de começarmos expliquei novamente como iriam suceder as apresentações, grupos voluntários iriam ser chamados para apresentar o seu póster, na ausência de voluntários a escolha seria aleatória. Cada grupo dispunha de 5 a 10 minutos para a apresentação, seguida de uma breve discussão, na qual os outros grupos deveriam participar e só no fim eu diria alguma coisa. Nos dois turnos houve quase sempre voluntários e só duas vezes foi preciso tirar “à sorte” um grupo para apresentar. A grande maioria das apresentações correram bastante bem, os pósteres estavam bem elaborados, com a informação necessária e de leitura agradável. Dois dos grupos resolveram redigir os pósteres em inglês, mas realizaram a apresentação em português.

Depois das apresentações de cada póster, os grupos que não estavam a apresentar colocaram poucas questões, dando-me a sensação de que alguns deles não tinham estado atentos, uns por ainda estarem a tentar decorar as suas apresentações, outros por já terem apresentado e estarem demasiado relaxados. No final de cada apresentação, perguntei sempre quais tinham sido as principais dificuldades de cada grupo e se tinham aprendido algo com a elaboração do trabalho. A maioria dos grupos referiu que teve dificuldade na pesquisa dos artigos, bem como na sua interpretação, por estarem escritos em inglês e apresentarem termos técnicos com os quais não estavam familiarizados. Alguns grupos também disseram que tiveram dificuldades em perceber qual a informação que devia constar no poster. A maioria dos grupos referiu ter gostado bastante deste trabalho que lhes permitiu ter contactado com investigação científica recente, assim como aprender a pesquisar e analisar um artigo científico o que os fez sentir que era algo importante conseguir numa disciplina científica como a Biologia.

No final de todas as apresentações a aula terminou 45 minutos mais cedo do que a hora habitual, o que aconteceu, em ambas as turmas.

Para além das alterações das datas de apresentação dos pósteres, também outras actividades não decorreram nas datas inicialmente previstas. No dia 22 de Março, o professor cooperante esteve em visita de estudo com as suas turmas de Biologia e Geologia e, conseqüentemente, a aula de Biologia do 12º ano foi assumida pelo professor substituto de outra disciplina.

Dia 27 de Março também não houve aula de Biologia pois decorreu, no átrio da escola, uma exposição, organizada pela *Inspiring Future*, de várias faculdades nacionais e internacionais, direccionada para os alunos do 12º Ano.

Estes contratemplos implicaram adaptação da calendarização das intervenções e, dessa forma, levou à extensão do meu período de intervenção. No entanto, consegui adaptar-me e cumprir a execução de todas as actividades, de forma a alcançar os objectivos delineados.

4. Metodologia

Neste capítulo são descritos os procedimentos seguidos tendo em vista responder às questões de investigação previamente enunciadas. Inicia-se com a apresentação das opções metodológicas e do desenho do estudo. Segue-se a caracterização do contexto escolar e da turma. Na terceira secção especificam-se as técnicas e os instrumentos de recolha de dados, na quarta os aspectos de natureza ética tidos em consideração para a concretização da presente componente investigativa e na quinta e última secção uma síntese das restrições à concretização da mesma.

4.1. Opções Metodológicas

As questões de investigação, enunciadas no Capítulo 1, que aqui são lembradas, denotam a intenção de analisar, descrever e interpretar uma situação concreta em que alunos de uma turma de Biologia viveram uma sequência de 5 aulas sobre engenharia genética seguindo uma abordagem CTS:

- Que aprendizagens são potencializadas ao longo de uma sequência didáctica sobre Engenharia Genética em que são realizadas diferentes actividades CTS?
- Que apreciação fazem os alunos das actividades CTS realizadas?
- Que dificuldades são evidenciadas pelos alunos ao realizar as actividades CTS?

Optou-se, por isso, por uma metodologia qualitativa de orientação descritiva e interpretativa, baseando-se na interpretação e descrição da acção dos participantes, centrando-se no processo e não só nos resultados (Jackson II, Drummond & Camara, 2007). O investigador inseriu-se directamente no contexto da investigação, actuando e interagindo com os participantes (Cho & Trent, 2006).

A metodologia investigativa qualitativa permite adoptar uma grande variedade de métodos e técnicas de recolha de dados. Contudo, é essencial que o investigador tenha sempre em conta os objectivos da investigação, os participantes do estudo, bem como as valências e limitações de cada instrumento de recolha de dados escolhido (Bogdan & Biklen, 1994). A diversidade de instrumentos de recolha de dados constitui ainda uma mais valia na investigação em educação, uma vez que permite ao investigador obter dados diferenciados, podendo fazer uma avaliação mais detalhada e com maior fundamento, assegurando a validade da sua investigação (Fraenkel, Wallen, & Hyun, 2011).

4.2. Caracterização do Contexto Escolar e da Turma

A minha intervenção foi realizada num colégio do distrito de Lisboa administrado por uma instituição particular de solidariedade social.

O colégio no seu currículo, propõe aos seus alunos:

- A aprendizagem da língua portuguesa, como o principal instrumento de consciência de si próprio e do mundo.
- A aprendizagem do Inglês, Latim, Alemão e Mandarim do 5º ao 9º ano.
- A aprendizagem da Matemática, através do método *GreatMath*, um método inspirado no programa de matemática de Singapura, mas orientado pelas orientações curriculares portuguesas.
- A aprendizagem das ciências, formalizada nos 7º, 8º e 9º anos de escolaridade, numa abordagem que permita aos alunos experimentarem o método científico através da utilização de aulas laboratoriais, visitas de estudo e saídas de campo.
- A aprendizagem da Arte através do ensino de Artes Plásticas, Música e Artes Dramáticas.
- Uma educação religiosa onde os alunos são desafiados quanto às grandes questões do destino, da vida e da existência, através de uma catequese cristã transversal em todas as matérias.

O meio envolvente da escola é uma zona residencial. O colégio oferece instalações recentes e adequadas aos alunos e aos agentes educativos, cada sala de aula encontra-se distribuída com carteiras individuais, apresentam uma grande quantidade de luz natural, um quadro branco e um projector e os laboratórios estão bem equipados. Uma auxiliar de acção educativa, presta apoio ao professor na preparação dos materiais para as diferentes aulas práticas laboratoriais. Cada professor dispõe de um computador portátil e há possibilidade de requisitar mais computadores para os alunos.

Os alunos que frequentam o colégio, na sua maioria, moram na zona de Lisboa, são, no geral, provenientes de classe económica média-alta, e existe alguma diversidade cultural com alunos de nacionalidades portuguesa, angolana e macaense.

Durante a sequência didáctica que leccionei, acompanhei uma turma de 12º ano. Semanalmente a turma encontrava-se dividida em dois turnos de 10 e 11 alunos, na aula prática laboratorial de 120 minutos, sendo a aula teórica comum aos dois turnos. No total a turma era

composta por 12 alunos, 12 do sexo masculino e 9 do sexo feminino, com idades compreendidas entre os 17 e 19 anos. Era uma turma bastante participativa nas aulas e interessada em aprender, e no geral apresentou bons resultados académicos e empenho em todas as disciplinas.

4.3. Técnicas e Instrumentos de Recolha de Dados

Tendo em vista dar resposta às questões de investigação, através de um procedimento lógico de investigação empírica, foram seleccionadas as seguintes técnicas de recolha de dados: i) entrevista de grupo focal no início da leccionação da sequência didáctica; ii) observação participante ao longo das 5 aulas; iii) análise dos pósteres produzidos pelos alunos; iv) questionário ministrado aos alunos no fim da sequência didáctica.

Morgan (1997) definiu a entrevista de grupo focal como sendo uma técnica de investigação que visa obter dados através da análise da discussão de um grupo de participantes, onde o investigador assume o papel de moderador. Esta técnica de entrevista ocupa uma posição intermédia entre a observação participante e a entrevista de grupo. Ao contrário da entrevista de grupo, no contexto de grupo focal, o interesse do investigador não é tanto nas respostas dadas pelo grupo às questões levantadas, mas sim, também, em toda a discussão e interacção entre os elementos do grupo (Godim, 2003). Como o grupo focal e a observação participante partilham um enfoque na interacção do grupo, há muitos tópicos em que é possível planear uma investigação usando qualquer um deles, complementando-se (Morgan, 1997).

De início, ao planear os procedimentos metodológicos para dar resposta à primeira questão de investigação, considerei a realização de duas entrevistas de grupo focal, uma anterior à intervenção e outra após a mesma. Ambas as entrevistas tinham como objectivo identificar as concepções e ideias dos alunos sobre engenharia genética, bioética e relações ciência-tecnologia-sociedade. A primeira entrevista está dividida em 4 secções, Ciência, Cientista, Tecnologia e engenharia genética. (ver guião no apêndice 8.3). Estava prevista a realização das 2 entrevistas de grupo focal em cada um dos turnos (T1 e T2). No entanto, ocorreram várias alterações, no que estava previamente planificado, devido a razões várias, como alterações imprevistas nas datas de realização de testes e da feira *Inspiring Future*, que impossibilitaram a realização da segunda entrevista em ambos os turnos.

Não foi, assim, possível comparar os conhecimentos prévios com os conhecimentos adquiridos e discutir as possíveis aprendizagens realizadas pelos alunos com base nesses dados. Contudo, relativamente à primeira entrevista de grupo focal, esta decorreu como o previsto e

procedeu-se à sua gravação e posterior transcrição. Este procedimento foi útil para recolher informação sobre a turma e os seus conhecimentos e para adequar as estratégias de ensino que iriam ser aplicadas.

A observação é uma técnica de recolha de dados que consiste na análise directa de situações específicas em estudo. Em contexto escolar “a observação é o conjunto de actividades destinadas a obter dados e informações sobre o que se passa no processo de ensino/aprendizagem com a finalidade de, mais tarde, proceder a uma análise do processo [...]” (Alarcão e Tavares, 1987, p. 130). A observação é uma prática vantajosa no contexto de investigação em educação, em especial em situações que incidem sobre a prática do professor e interacções na sala de aula (Dias & Morais, 2004). A observação apresenta como potencial inconveniente algum grau de subjectividade, inerente ao observador (Bogdan & Biklen, 1994).

A forma de observação seguida foi a participante em que fui simultaneamente professor e observador incidindo sobre as características da situação, os comportamentos e interacções dos alunos trabalhando quer individualmente quer em grupo. A anotação dos registos de observação foi diferida – depois de cada aula foram anotados, num caderno de campo descritivo, os dados recolhidos de observações não estruturadas que tiveram um carácter descritivo da acção. Seguiu-se um procedimento de análise do conteúdo dos registos no caderno de campo baseado em Bogdan e Biklen (1994) envolvendo a criação de categorias de análise a partir da leitura repetida do texto.

O questionário é uma técnica de recolha de dados que consiste num conjunto padronizado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo como objectivo o conhecimento de opiniões, sentimentos, expectativas e situações vivenciadas. Optou-se por esta técnica por permitir o anonimato de um número elevado de respondentes, neste caso os 23 alunos da turma participante (Chaer, Diniz & Ribeiro, 2011).

O questionário ministrado aos alunos no fim da intervenção foi elaborado com o objectivo de obter dados para uma apreciação global das estratégias implementadas, especificamente para recolher dos alunos a sua apreciação sobre as estratégias implementadas. Este questionário (ver Apêndice 8.2), de natureza mista, é composto por questões fechadas e abertas e está dividido em três secções: “Vídeos”, “Entrevista e discussão” e “Trabalho de Grupo”, designadas neste relatório por A, B e C, respectivamente.

A análise do conteúdo dos pósteres e das respectivas apresentações realizadas pelos grupos de alunos, permitiu fazer uma apreciação das aprendizagens realizadas em relação à temática abordada e também tornou evidente algumas dificuldades.

No conjunto, os dados obtidos através dos procedimentos acabados de descrever permitiram uma apreciação das aprendizagens realizadas pelos alunos.

4.4. Questões Éticas

De acordo com a Carta Ética do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa (IEUL, 2016), nesta secção são descritos os cuidados éticos tidos em consideração para a realização da componente investigativa da Prática de Ensino Supervisionada.

Foi pedido aos participantes o consentimento informado, autorizado e assinado pelos seus representantes legais. Os mesmos foram informados sobre os objectivos do estudo, quais os dados que iriam ser recolhidos e divulgados, bem como o tempo requerido durante este processo.

Foi assumida a confidencialidade e privacidade dos participantes ao longo do estudo. Os mesmos nunca foram identificados e não consta qualquer identificação da turma, nem do estabelecimento escolar em nenhum documento produzido.

A publicação e divulgação do conhecimento produzido foi assumida através da publicação do presente relatório no repositório da Universidade de Lisboa onde poderá ser consultado livremente.

4.5. Condicionantes à Concretização da Intervenção

Houve vários motivos que não permitiram que a intervenção decorresse como proposta inicialmente.

A primeira dificuldade prendeu-se com a extensão do tempo da intervenção. Devido a aulas que não foram leccionadas, a visitas de estudo e à viagem de finalistas dos alunos, o prazo de término, previsto para o início de Abril, foi prolongado para Maio. Este factor afectou a dinâmica da intervenção, que sofreu pausas e, conseqüentemente, provocou a quebra da continuidade do trabalho dos alunos. O facto de a intervenção ter sido tão extensa poderá ter causado alguma extenuação nos alunos em relação ao tema.

Por causa destas interrupções tive de adaptar a calendarização das minhas aulas e reduzir a quantidade das mesmas, desta forma, os alunos tiveram menos aulas do que o suposto, o que impossibilitou a existência de mais momentos, com os professores, dedicados à análise e à interpretação dos artigos escolhidos para elaboração dos posters, o que pode ter prejudicado os alunos. Além disso, as interrupções poderão ter contribuído para a perda do entusiasmo e interesse dos alunos, que tinha sido ganho no início das intervenções.

5. Apresentação e Análise de Dados

Neste capítulo são apresentados e analisados os dados obtidos através das diferentes técnicas seguidas e dos instrumentos de recolha de dados utilizados. Encontra-se organizado segundo as questões de investigação, pelo que se inicia com uma secção sobre a apreciação dos alunos acerca das actividades realizadas. A segunda secção centra-se nas dificuldades dos alunos e a terceira nas aprendizagens potencializadas pela realização das actividades.

5.1. Apreciação dos Alunos Acerca das Actividades Realizadas

Nesta secção estão expostos os dados obtidos através da análise das respostas dos alunos participantes ao questionário.

5.1.1. Perspectivas acerca da actividade: “Visualização de Vídeos”

Nesta secção são apresentadas e analisadas as respostas dos alunos à secção B do questionário que diz respeito à visualização dos vídeos “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” e “Designer DNA”.

O gráfico da figura 5 refere-se às respostas dos alunos aos itens/escala de likert do questionário, referentes à visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre”

Todos concordaram que esta actividade contribuiu para: i) se interessarem pelo tema de engenharia genética; ii) entender conceitos básicos de engenharia genética; iii) perceber as potencialidades da engenharia genética; iv) compreender o impacte de uma tecnologia na sociedade. A análise do gráfico permite assinalar que a concordância nas respostas foi superior em relação aos itens iii) quinze concordaram totalmente, seis concordaram e iv) doze concordaram totalmente, nove concordaram.

O acordo também é assinalável quanto ao contributo da actividade para: v) compreender a evolução das tecnologias de edição de genes ao longo da história e vi) entender o que é o CRISPR-CAS 9. Contudo, um aluno não concordou em v) e cinco alunos não concordaram em vi) tendo um deles discordado totalmente.

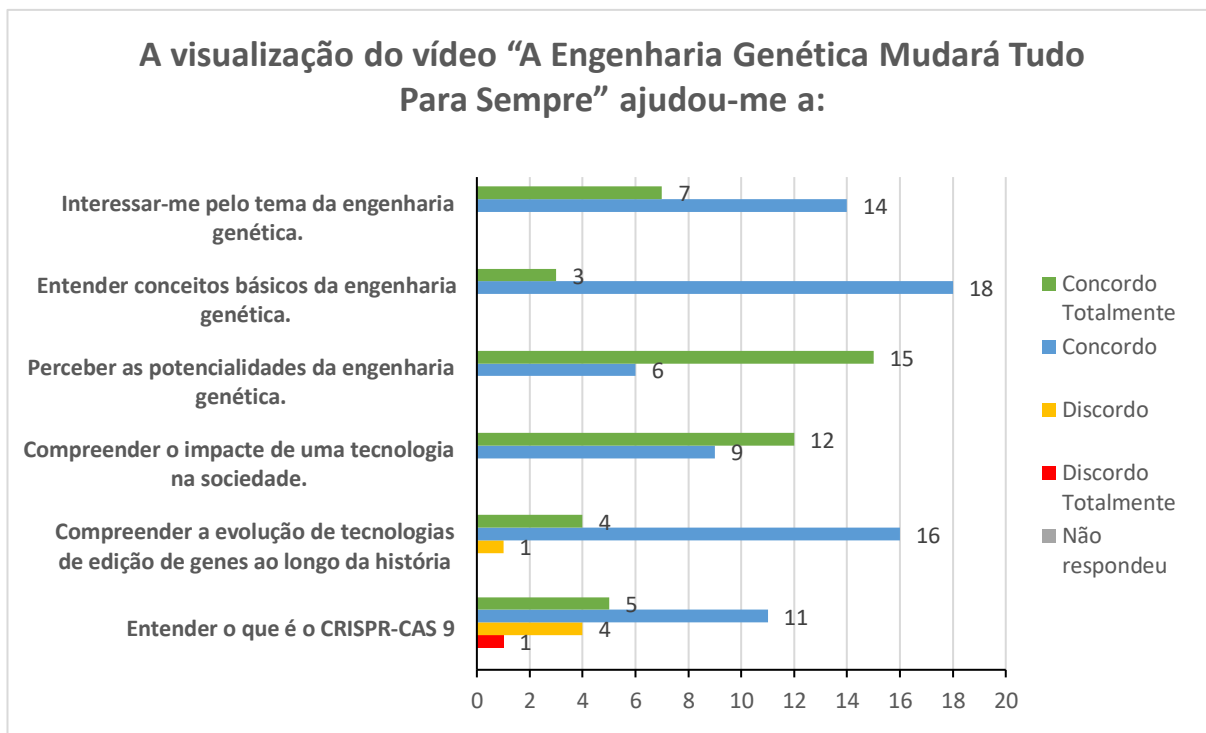


Figura 5. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre”.

O gráfico da figura 6 refere-se às respostas dos alunos aos itens/escala de likert do questionário, referentes à visualização do vídeo “*Designer DNA*”.

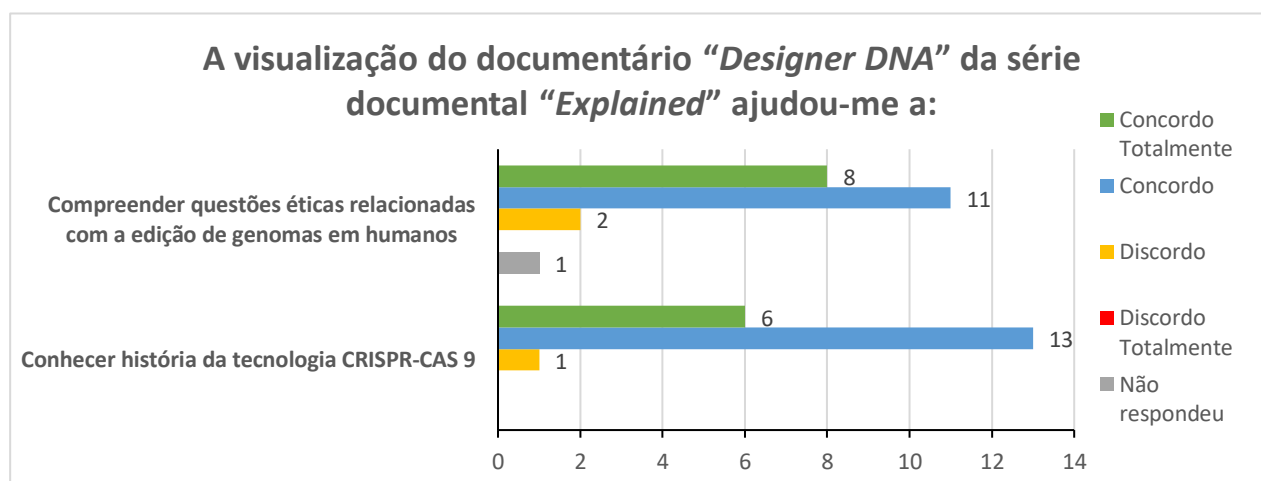


Figura 6. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a visualização do vídeo “*Designer DNA*”.

Segundo os alunos a visualização do documentário “*Designer DNA*” permitiu-lhes: vii) compreender as questões éticas relacionadas com a aplicação desta tecnologia em células humanas (oito concordaram totalmente, doze concordaram e dois discordaram) e viii) conhecer a história da tecnologia CRISPR-CAS (seis concordaram totalmente, treze concordaram, um discordou e um não respondeu).

A análise de conteúdo das respostas dadas à questão aberta acerca desta actividade de visualização de vídeos permitiu identificar um conjunto de atributos referidos pelos alunos ao comentarem as suas vantagens (ver Tabela 2).

Tabela 2 - *Análise das respostas à questão aberta “Quais são as vantagens da visualização deste tipo de vídeos na compreensão destes conceitos?”*

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Características inerentes ao vídeo	Imagens	<p>“Acho que este tipo de vídeo, por ser dinâmico e atractivo, ajuda-nos a estar atentos e interessados no que está a ser dito, também por apresentar uma componente tão visual”</p> <p>“Estes vídeos promovem ilustrações dinâmicas, vídeos, imagens que ajudam muito a acompanhar a compreensão de conceitos que nunca ouvimos e são difíceis de compreender”</p> <p>“Muito vantajoso para a compreensão destes conceitos pois tem imagens e animações que facilitam a compreensão”</p>	8
	Acessibilidade	<p>“A visualização deste tipo de vídeo torna a aprendizagem mais fácil e apelativa”</p> <p>“Ajudam a perceber os conceitos por causa dos esquemas. É mais fácil ficar mais tempo concentrado num vídeo do que numa explicação, não vejo desvantagens”</p>	3
	Exemplos concretos	<p>“Uma vantagem são os exemplos concretos presentes nestes vídeos que ajudam a formular melhor uma imagem mental destes conceitos”</p>	1
Conhecimentos	Aquisição	<p>“Dão aos alunos os conhecimentos mínimos necessários para entender a manipulação genética, permitindo a leitura de trabalhos relacionados”</p>	2
	Consolidação	<p>“A visualização de documentários beneficia a aprendizagem da disciplina visto que aprofunda o tema enquanto coloca novas questões”</p>	1
Outros	Relevância CTS	<p>“Estes vídeos ajudam a informar as pessoas para que elas saibam o que é e as possíveis consequências disso, boas ou más. Não há desvantagem nisso”</p>	3

Nas suas respostas sobre as vantagens da visualização de vídeos, oito alunos apontaram, como uma característica inerente ao vídeo, as imagens animadas e dinâmicas que proporciona e que são promotoras de aprendizagens. Outra vantagem referida por três alunos foi o próprio tipo de acesso – a visualização – que pode ser mais envolvente do que a transmissão pelo professor. Um aluno referiu a utilização de exemplos concretos nos vídeos visualizados.

Outra categoria de vantagens identificada refere-se ao efeito da visualização de vídeos nos processos de aquisição (dois alunos) e consolidação (um aluno) dos conhecimentos como especialmente benéfico para a realização do trabalho de grupo de pesquisa e análise dos artigos científicos. Por fim, três alunos referiram a importância do uso de vídeos como estes para informar acerca das consequências, nas sociedades, do uso de tecnologias, como o CRISPR-Cas, o que se pode considerar como uma perspectiva CTS.

Como desvantagem apenas um aluno apontou o facto de grande parte dos participantes no documentário serem cientistas, o que poderá ser um risco para a imparcialidade na análise da questão ética apresentada.

No geral, estas respostas denotam o impacto que esta actividade exerceu nos alunos. Através das minhas observações nas aulas foi possível verificar que estes exemplos constituíram algo que surpreendeu e chamou a atenção dos alunos. Tal como registei no meu caderno de campo:

“Assim que o vídeo terminou, os dois turnos reagiram de forma muito semelhante bombardeando com perguntas como “o professor acha mesmo isto possível?”, “isto é mesmo assim tão revolucionário?”

Com base nas respostas ao questionário e nas observações realizadas em aulas, posso concluir que a visualização dos vídeos foi bem-sucedida no alcance dos objectivos pretendidos de aquisição de conhecimentos sobre Engenharia Genética e suas aplicações, bem com as suas potencialidades como geradores de motivação e interesse nos alunos. Os alunos referiram que esta actividade gerou interesse pelo tema, os vídeos eram apelativos e de fácil compreensão. Desta forma, os vídeos cumpriram o propósito de ser um instrumento introdutório, tanto do tema da engenharia genética, como da ética da alteração de genes em humanos estes resultados são coerentes com a literatura consultada sobre a utilização de vídeos em sala de aula como estratégia promotora do interesse e da compreensão de conceitos (Berk, 2009; Rackaway,

2012). Contudo, houve alunos que demonstraram uma perspectiva mais negativa (ver figuras 5 e 6), revelando dificuldade em compreender alguns conceitos que foram mais tarde necessários para a elaboração dos trabalhos de grupo. Uma estratégia para suprir este problema poderá ser uma maior orientação durante processo de visualização do vídeo através da apresentação de um guião com questões orientadoras para os alunos responderem. As respostas apresentadas pelos alunos poderão ser analisadas numa discussão geral orientada pelo professor em cada turno.

5.1.2. Perspectivas acerca da actividade “Entrevista a um Cientista”

Nesta secção são apresentadas e analisadas as respostas dos alunos à secção C do questionário que diz respeito à actividade que envolveu a preparação e concretização de uma entrevista a um cientista com a finalidade de promover, nos alunos, a compreensão das relações entre ciência, tecnologia e a sociedade.

O gráfico da figura 7 refere-se às respostas dos alunos aos itens/escala de likert do questionário, referentes à entrevista.

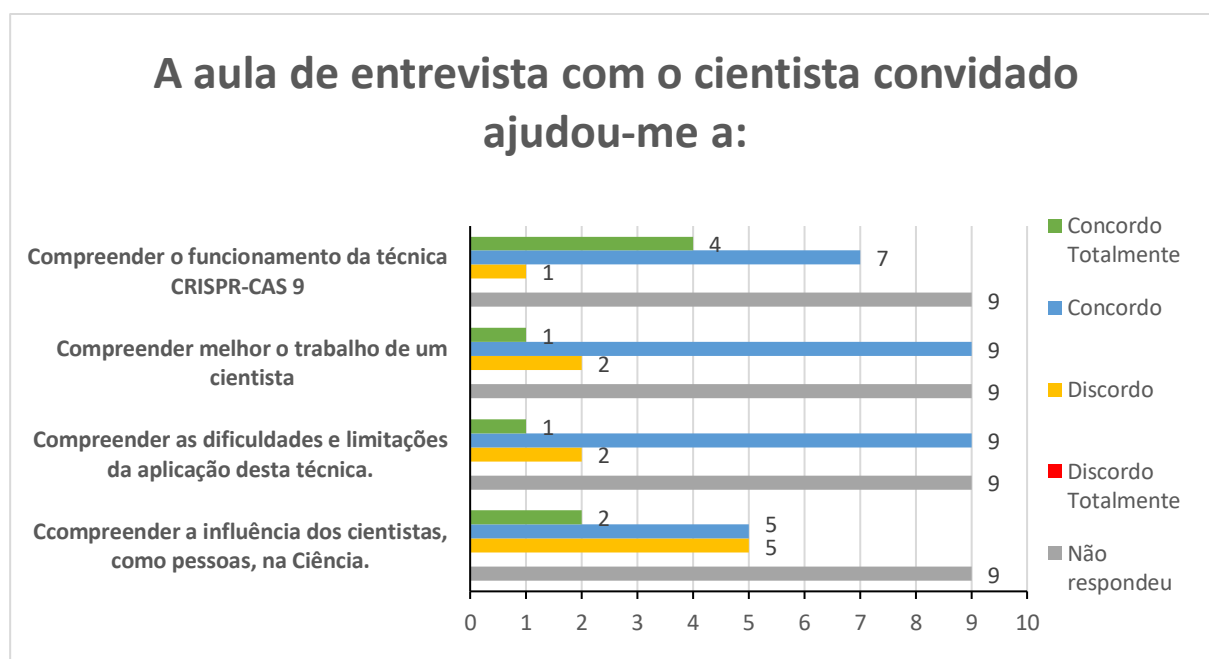


Figura 7. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a entrevista a um cientista.

Nove alunos não responderam a estes itens do questionário pois não estiveram presentes nesta aula, tal como se explica no capítulo 3 deste relatório, na secção de descrição das aulas da sequência didáctica.

Segundo os doze alunos que responderam a estes itens a actividade de entrevista ao cientista permitiu-lhes: i) compreender o funcionamento da técnica CRISPR-CAS9 (quatro alunos concordaram totalmente, sete concordaram, um discordou); ii) compreender melhor o trabalho de um cientista (um concordou totalmente, nove concordaram, 2 discordaram) e iii) compreender as dificuldades e limitações desta técnica (um concordou totalmente, nove concordaram, 2 discordaram). Relativamente ao item iv) “compreender a influência dos cientistas, como pessoas, na Ciência”, as opiniões dividiram-se, dois alunos concordaram totalmente, cinco concordaram e cinco discordaram.

A análise de conteúdo das respostas dadas à questão aberta acerca desta actividade permitiu identificar um conjunto de atributos referidos pelos alunos ao comentarem as suas vantagens para a compreensão destes conceitos, em especial a compreensão das relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da entrevista a um cientista

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Orador	Credibilidade do Orador	"Acho que é importante o confronto com alguém que tenha conhecimento sobre o tópico discutido e que esteja por dentro do que esta a ser debatido" "Apesar do confronto com os colegas se revelar benéfico a interpretação pode não ser a correcta, logo quando fazemos uma entrevista a um cientista, temos em princípio certeza nos factos"	6
	Imparcialidade	"Sabermos a opinião de um entendedor na matéria. Sabermos o ponto de vista de um cientista, não influenciado por pontos de vista religiosos ou de convicções"	2
Outros	Relevância CTS	"O facto de o cientista estar dentro dos dois campos. Trabalhar em ciências e viver em sociedade e por isso mais facilmente percebe os frutos do seu trabalho"	1
Conhecimentos	Aquisição	"Vantagens ficamos a saber mais, adquirir mais conhecimento através de uma pessoa formada naquele assunto"	1
	Consolidação	"Perceber melhor assuntos vindos de uma autoridade que tem conhecimento muito maiores que cada um de nós"	1

Em relação à categoria “orador”, seis alunos referiram, como factor de confiança, a sua credibilidade, por ser um especialista no tema em causa, “temos em princípio a certeza dos factos”. Dois alunos referiram a imparcialidade do orador como uma vantagem.

Foi incluída a resposta de um aluno na subcategoria “Relevância CTS” por ter considerado, como vantagem, o facto do cientista estar “dentro dos dois campos”, o das ciências e o da sociedade.

Na categoria “conhecimentos” um aluno referiu a vantagem desta actividade para a aquisição de mais conhecimentos; outro aluno referiu a vantagem desta actividade para a consolidação – “perceber melhor” – os conhecimentos.

Não foram referidas quaisquer desvantagens nem dificuldades. Contudo, um aluno referiu como algo que poderia ser melhorado, a realização de uma aula prática laboratorial onde estas técnicas pudessem ser aplicadas pelos alunos, mesmo que de uma forma mais simplificada.

Esta actividade de entrevista a um cientista, de uma maneira geral, cumpriu os objectivos definidos inicialmente. Pelas respostas ao questionário e pelas observações durante as aulas, os alunos revelaram alguma compreensão das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, estes resultados são coerentes com os apontados por Spier-Dance (2003). Porém, pode ser melhorada, com recurso a outras estratégias. A sugestão de um aluno, referida no parágrafo anterior é muito pertinente e reveladora de uma atitude, provavelmente partilhada pelos colegas, muito positiva em relação ao trabalho prático laboratorial. Face aos comportamentos observados (interesse demonstrado durante a aula e a qualidade das questões colocadas na altura), outra estratégia poderá ser adicionar uma aula de preparação, em grupo, do guião da entrevista sob a orientação do professor.

5.1.3. Perspectivas acerca da actividade: “Discussão Ética da Edição de Genes”

Nesta secção são apresentadas e analisadas as respostas dos alunos à secção C do questionário relacionadas com a actividade de discussão sobre a ética da edição de genes em humanos cuja finalidade foi a de promover, nos alunos, uma compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade.

O gráfico da figura 8 refere-se às respostas dos alunos aos itens/escala de likert do questionário.

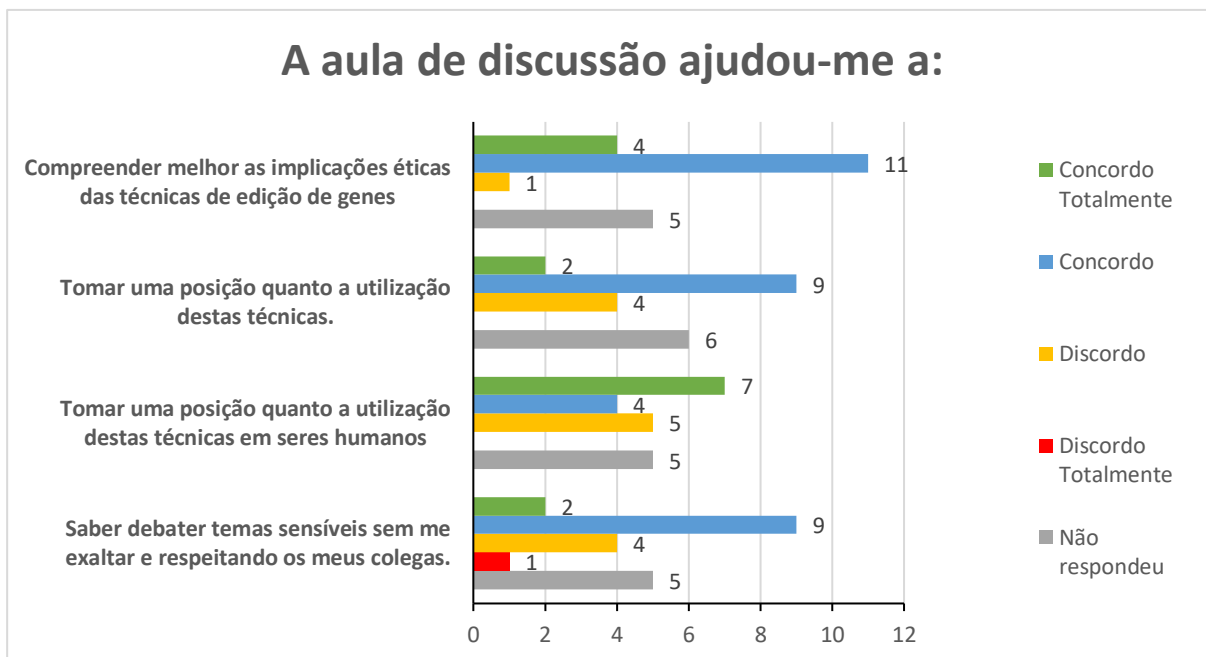


Figura 8. Respostas às questões fechadas do questionário sobre a actividade de discussão

Cinco alunos decidiram não responder a nenhum dos itens de resposta fechada, por terem estado ausentes da aula e não terem participado no debate. No entanto, alguns deles não se abstiveram de responder a algumas das questões abertas desta secção, o que se pode ter devido, a meu ver, ao facto de as questões abertas não requererem a necessidade de ter estado presente na discussão para formular uma opinião sobre a actividade. Como achei algumas dessas respostas interessantes e pertinentes, resolvi incluí-las na Tabela 4.

Segundo os dezasseis alunos que responderam a estes itens, a actividade de discussão permitiu-lhes: i) compreender melhor as implicações éticas das técnicas de edição de genes (quatro alunos concordaram totalmente, onze concordaram, um discordou); ii) tomar uma posição quanto à utilização destas técnicas (dois concordaram totalmente, nove concordaram, quatro discordaram, um não respondeu); iii) tomar uma posição quanto à utilização destas técnicas em seres humanos (sete concordaram totalmente, quatro concordaram, cinco discordaram); iv) saber debater temas sensíveis sem me exaltar e respeitando os meus colegas (dois alunos concordaram totalmente, nove concordaram, quatro discordaram, um discordou totalmente).

Na tabela 4 estão sintetizados os resultados da análise de conteúdo às respostas dos alunos sobre as vantagens e desvantagens da actividade de discussão.

Tabela 4 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da actividade de discussão.

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Atitudes	Respeito pelas ideias dos outros	<p>“Cada um revela diferentes perspectivas e opiniões quanto a certos dos conceitos, logo só traz vantagens confrontar o que entendemos com os outros, de modo a perceber melhor o conceito”</p> <p>“Na minha opinião apenas vejo vantagens na realização deste debate pois é possível pensar nestes assuntos de diferentes pontos de vista”</p> <p>“Os debates ajudam-nos a ter em contas os diversos pontos de vista sobre um determinado tema, levando a que eu ponha em causa ou defenda mais convictamente a minha opinião”</p> <p>“Um debate com os colegas na minha opinião é sempre uma vantagem porque nos dá oportunidade de ouvir várias opiniões e leva-nos a pensar em coisas que se calhar nunca tínhamos pensado”</p> <p>“Saber ouvir outras perspectivas, ficar a saber mais, ouvir os outros ajuda a arranjar uma posição mais sólida sobre do problema”</p>	12
	Formular a própria opinião	<p>“Através de debates é possível desenvolver ou obter uma posição acerca de temas importantes da actualidade”</p> <p>“Troca de ideias, aprofundamento de ideias. Chegar-se a conclusões sobre as coisas”</p>	6
Competências	Desenvolver espírito crítico	<p>“O debate é sempre uma coisa importante, pois nos ajuda a desenvolver sentido crítico e a saber ouvir as opiniões dos outros, podendo estas apresentar pontos de vista ou ideias que nos nunca tínhamos considerado, mas que nos fazem sentido.”</p> <p>“Obriga os alunos a pensarem sobre estes temas não vejo desvantagens”</p>	3
Outro	Relevância CTS	<p>“Um debate leva-me a perceber que a ciência também está sujeita à moral e como é um problema actual”</p>	2

Quando questionados sobre as vantagens da discussão como estratégia didáctica, em especial para a compreensão das relações ciência, tecnologia e sociedade, doze alunos referiram, como factor positivo, a partilha de opiniões entre os colegas e a possibilidade de ouvir fundamentos dos colegas por detrás dessas opiniões. Seis alunos foram mais além e referiram que essa partilha contribuiu não só para formularem novas opiniões e posições, mas também para fortalecerem opiniões já existentes. Alguns alunos destacaram, também, o desenvolvimento do seu espírito crítico. Dois alunos referiram ainda o contributo desta discussão para entender que a ciência e a tecnologia estão sujeitas à moral e ética da sociedade

Quanto às desvantagens, dois alunos referiram ter sentido que os pontos de vista mais divergentes, sobre este tema, apresentaram mais dificuldade em manifestar-se. Isto deveu-se especialmente à pressão sentida pelos alunos de que as suas opiniões poderiam não ser bem-vindas, por serem minoritárias.

“Uma desvantagem é quando o número de pessoas a defender uma certa opinião é muito menor do que o número de pessoas a defender a posição oposta, torna-se mais difícil conseguir partilhar e explicar a opinião menos popular.”

Outro aluno referiu como desvantagem o facto de, neste tipo de actividade, a intervenção do professor ser menor, o que pode levar a um debate baseado em informações erradas e contribuir negativamente para a aprendizagem. Confesso que tendo a concordar, em parte, com esta opinião, uma vez que senti algumas dificuldades em decidir quando deveria intervir no debate. Existe um equilíbrio ténue entre a intervenção excessiva do professor, que pode causar embaraço e falta de espaço para a participação dos alunos, e a pouca intervenção que pode levar a discussão baseada em factos alternativos e não verdadeiros.

Quanto às sugestões um aluno sugeriu a execução de uma aula de preparação para a discussão e um aluno sugeriu a elaboração de um método que forçasse a participação de todos alunos. Eu tendo a discordar desta opinião porque um dos objectivos desta estratégia era a participação livre nesta discussão, e uma vez que se trata de um assunto controverso e sensível, a participação neste tipo de estratégias deve ser livre.

Não obstante penso que a actividade de discussão correu bastante bem, houve uma elevada participação de praticamente todos os alunos. Pela análise das respostas ao questionário posso concluir que, para a maioria dos alunos, o debate contribuiu para uma tomada de posição

quanto a estas técnicas, assim como a uma reflexão pessoal sobre as suas aprendizagens e conhecimentos, estas vantagens são conducentes com as apresentadas na literatura consultada (Brookfield e Preskill, 1999; Simonneaux, 2001 Parker e Hess, 2001; Reis, 2004; Proulx, 2004; Krasilchick, 2008).

E apesar de poder ter feito mais intervenções durante o debate e ter incentivado mais a participação de alguns alunos mais envergonhados, penso que a discussão correu bastante bem e foi útil para a aprendizagem dos alunos.

5.1.4. Perspectivas acerca da Actividade: “Trabalho de Grupo”

Nesta secção são apresentadas e analisadas as respostas dos alunos à secção D do questionário relacionadas com a actividade Trabalho de Grupo que envolveu uma pesquisa orientada para a selecção de um artigo científico, elaboração de um póster científico, tendo por base o artigo científico analisado e sua apresentação à turma.

O gráfico da figura 9 refere-se às respostas dos alunos aos itens/escala de likert da questão sobre as aprendizagens desenvolvidas através da actividade em análise.

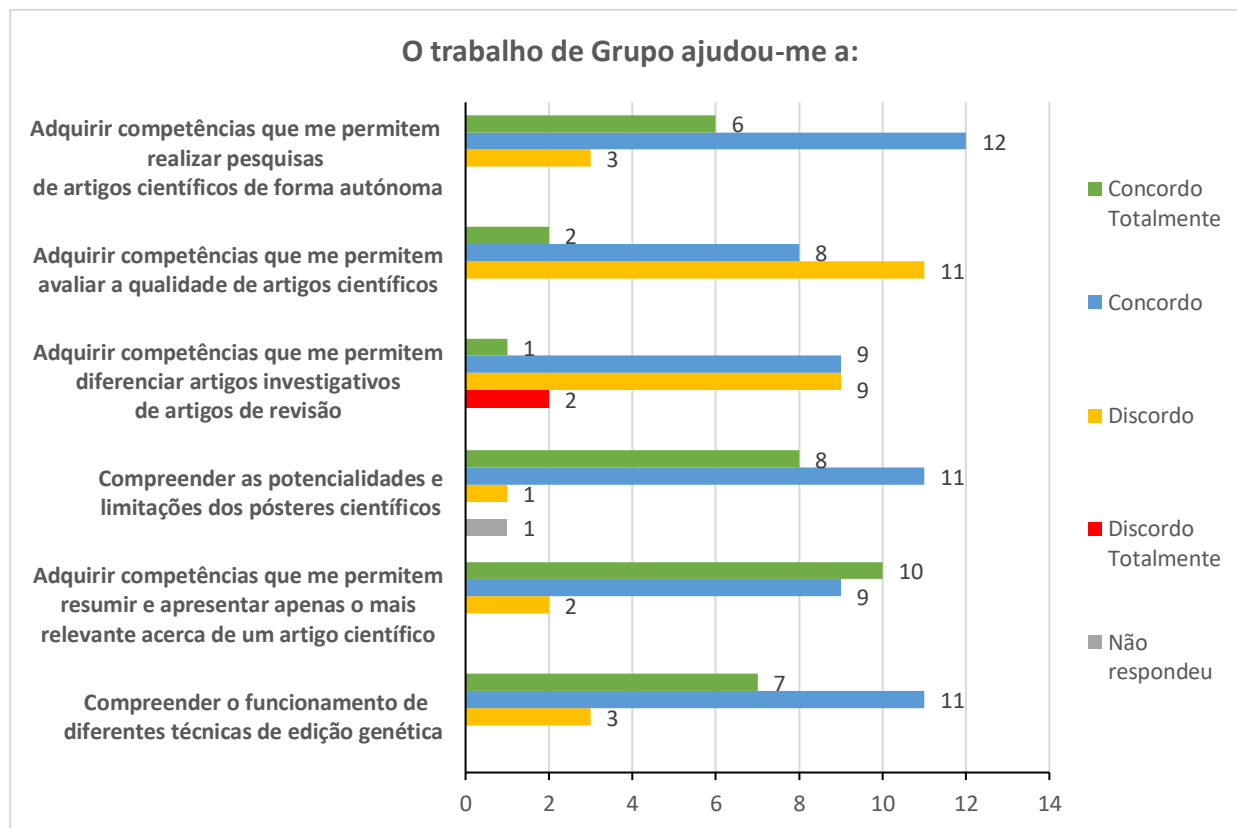


Figura 9. Respostas às questões fechadas do questionário sobre o Trabalho de Grupo

Segundo os vinte e um alunos que responderam a estes itens, a actividade de discussão permitiu-lhes: i) adquirir competências que me permitem realizar pesquisas de artigos científicos de forma autónoma (seis alunos concordaram totalmente, doze concordaram, três discordaram); iv) compreender as potencialidades e limitações dos pósteres científicos (oito alunos concordaram totalmente, onze concordaram, um discordou e um não respondeu); v) adquirir competências que me permitem resumir e apresentar apenas o mais relevante de um artigo científico (dez alunos concordaram totalmente, nove concordaram e dois discordaram); vi) compreender o funcionamento de diferentes técnicas de edição genética (sete alunos concordaram totalmente, onze concordaram e três discordaram).

As perspectivas dos alunos divergiram quanto aos itens ii) adquirir competências que me permitem avaliar a qualidade de artigos científicos (dois alunos concordaram totalmente, oito concordaram e onze discordaram) e iii) adquirir competências que me permitem diferenciar artigos investigativos de artigos de revisão (um aluno concordou totalmente, nove concordaram, nove discordaram e dois discordaram totalmente). Estes resultados permitem questionar a eficácia das estratégias seguidas nesta actividade em relação à análise de artigos científicos.

Na tabela 5 estão sintetizados os resultados da análise de conteúdo às respostas dos alunos sobre as vantagens da actividade de trabalho de grupo.

Quando inquiridos sobre as vantagens e desvantagens que sentiram ao realizar o trabalho de grupo, os alunos referiram, como vantagens, o desenvolvimento de competências, tal como a autonomia e o trabalho em grupo (ver tabela 5). Salientaram também competências relacionadas com a realização de pósteres científicos, como o resumo e apresentação criativa de informação.

Cinco alunos referiram que foram capazes de adquirir e de aprofundar os conhecimentos sobre a engenharia genética. Três alunos mencionaram a oportunidade de observar e aprender sobre a ligação entre as ciências e tecnologias em estudo, as suas relações, bem como a sua relação com a sociedade (ver tabela 5).

Tabela 5 - Análise das respostas à questão aberta sobre as vantagens da actividade trabalho de grupo

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Competências	Autonomia	<p>“A aprendizagem independente obriga a compreensão dos temas expostos representando um desafio para o qual se é atraído”</p> <p>“O estudo autónomo do tema estudado é importante para a melhor compreensão da mesma”</p> <p>“Obrigam-nos a investigar e a desenrascarmos-nos”</p>	4
	Trabalho em Grupo	<p>“As vantagens são conseguirmos perceber melhor as técnicas de engenharia genética mais facilmente e mais rapidamente pois como é em grupo estão todos a procurar mais coisas e tentar perceber o mesmo”</p> <p>“O facto de ser feito com outras pessoas facilita a trocar de ideias e opiniões sobre o que está a ser analisado, permitindo a melhor compreensão do mesmo.”</p>	4
	Realização de Pósteres	<p>“Aprender a mexer e fazer melhor um poster, saber o que apresentar referir os aspectos mais importantes ser mais divertido e simples”</p>	1
Conhecimentos	Aquisição	<p>“Obrigam-nos a perceber por nós próprios uma experiência com conceitos completamente novos (...)”</p>	1
	Consolidação	<p>“Acho que só há vantagens pois nos ajuda a fazer uma investigação detalhada e ir ao fundo dos temas”</p> <p>“O trabalho ajuda a desenvolver aquilo que começamos a perceber com a entrevista e o debate”</p>	4
Outros	Relevância CTS	<p>“Permitiu-nos perceber o efeito do CRISPR na sociedade e perceber exactamente como e que esta tecnologia foi aplicada”</p> <p>“Ao trabalharmos sobre uma dada investigação, compreendemos a facilidade que existe hoje em dia, graças à tecnologia, (por exemplo o crispr-cas9) de aprofundarmos o estudo de doenças e cancro”</p>	3

No que respeita às desvantagens, apenas quatro alunos responderam (Tabela 6). Três alunos apontaram o facto de a actividade proposta ser de elevada complexidade, nomeadamente estar acima das suas capacidades e conhecimentos (Tabela 6). Outro aluno referiu, como negativo, o facto de esta actividade possibilitar apenas, que cada grupo, tivesse contacto mais aprofundado com uma única técnica. Contudo, dada a natureza da intervenção e sua duração, apenas era exequível cada grupo apenas analisar um artigo científico, e consequentemente debruçar-se apenas numa técnica de engenharia genética.

Na opinião dos alunos esta estratégia possibilitou uma aprendizagem autónoma dos conceitos abordados, bem como a aquisição e desenvolvimento de competências de comunicação e trabalho em grupo. Alguns alunos também referiram como positivo o contacto próximo e aprofundamento de aplicações práticas destas tecnologias. De facto, durante a minha intervenção pude comprovar, nas aulas de pesquisa e análise dos artigos científicos, o espanto e entusiasmo dos alunos ao descobrirem aplicações da engenharia genética, que até este momento lhes eram totalmente desconhecidas ou inconcebíveis.

Tabela 6 - *Análise das respostas à questão aberta sobre as desvantagens da actividade trabalho de grupo*

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Planificação e execução da actividade	Elevada complexidade	<p>""Na minha opinião o trabalho não estava ao alcance das nossas capacidades. Achei que a avaliação deste tipo de artigos científicos é muito difícil e nós não temos conhecimentos e capacidades suficientes para o conseguir ler e compreender para fazer um resumo sobre ele."</p> <p>""Muitos dos artigos hoje em dia são bastante complexos e utilizam bastante linguagem desconhecida"</p>	3
	Elevada especificidade	"Diria o facto de nos focarmos apenas numa experiência o contacto com diferentes técnicas de engenharia genética estar limitado a apenas uma técnica"	1

A realização, em grupo, de uma pesquisa orientada, da elaboração de um póster científico e a sua respectiva apresentação proporcionaram aos alunos a compreensão do funcionamento de diferentes técnicas de engenharia genética, bem como uma maior consolidação dos conhecimentos já adquiridos sobre este tema. Esta estratégia contribuiu para o desenvolvimento de competências de trabalho autónomo, pesquisa, selecção e resumo de informação importante. Também permitiu o desenvolvimento de competências de comunicação oral e visual, o que coincide com a bibliografia consultada. (Kerr, Murray, Moore & Nonhebel, 2000)

Adicionalmente os dados apontam para a aquisição de conhecimentos acerca das potencialidades e limitações dos pósteres científicos como meios de comunicação em Ciência,

em especial na aprendizagem da comunicação através de imagem e as suas potencialidades, que vão de acordo com os autores Watson & Lom. (2008)

Por fim, esta estratégia permitiu aos alunos observarem e entenderem, uma ligação directa entre a ciência e a tecnologia e os seus impactes na sociedade.

Após analisar todos os dados recolhidos, concluo que a apreciação dos alunos, sobre as várias estratégias executadas nas aulas, foi bastante positiva. Quase todos os alunos reconheceram que estas actividades estimularam o interesse pela engenharia genética e identificaram inúmeras das vantagens para cada uma das actividades realizadas. A visualização de vídeos foi, particularmente, bem-sucedida na captação do interesse dos alunos no tema abordado. A entrevista ao cientista e a discussão possibilitaram, segundo a opinião dos alunos, a consolidação e a reflexão sobre os conhecimentos que já tinham adquirido sobre a engenharia genética. Segundo os dados recolhidos, a discussão e a entrevista ao cientista promoveram também um maior entendimento da Ciência, da sua Natureza e das suas relações com a Tecnologia e Sociedade. O trabalho de grupo possibilitou um contacto mais directo com estas técnicas e as suas aplicações o que, segundo os alunos, facilitou a aquisição dos conhecimentos.

Por fim, o trabalho de grupo foi apontado como uma actividade de elevada dificuldade e bastante exigente.

5.2. Dificuldades dos Alunos na Realização das Actividades

Nesta secção são apresentados os resultados da análise das respostas dos alunos participantes ao questionário e da observação das aulas.

5.2.1. Dificuldades na actividade “Visualização de Vídeos”

Nas suas respostas ao questionário os alunos não explicitaram qualquer dificuldade. Contudo, o questionário revelou discrepâncias nas respostas dos alunos ao item sobre a importância da visualização de um vídeo na compreensão da técnica CRISPR-CAS (ver figura 5), assim como aos dois itens referentes ao vídeo “Designer” (ver figura 6), o que pode ser revelador das dificuldades de alguns alunos na aprendizagem dos tópicos considerados. Ao longo da visualização dos vídeos, nas aulas, observei que os alunos não tomavam notas, apesar de os ter aconselhado a fazê-lo. Estes factos sugerem fracas competências de observação,

análise e crítica dos vídeos, o que denota a necessidade de maior orientação, pelo professor, recorrendo a diferentes estratégias.

5.2.2. Dificuldades na actividade “Entrevista a Um Cientista”

Nas suas respostas ao questionário os alunos não explicitaram qualquer dificuldade. Porém, a maioria dos grupos não preparou questões com antecedência como lhes foi indicado, o que pode sugerir, além de falta de motivação, dificuldades na formulação de questões e a necessidade de uma orientação mais estruturada pelo professor.

5.2.3. Dificuldades na actividade “Discussão Ética da Edição de Genes”

Na tabela 7 estão sintetizados os resultados da análise de conteúdo às respostas dos alunos sobre dificuldades sentidas durante a actividade de discussão.

Tabela 7 - Análise das respostas à questão aberta sobre as dificuldades durante a discussão

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Comunicação	Dificuldade de comunicação entre os alunos	“Durante o debate a principal dificuldade é não responder imediatamente ao que foi dito” “Muitas vezes gera-se discussão em que ninguém se ouve a ninguém”	5
	Dificuldade em expor a sua opinião	“A minha dificuldade foi debater porque não tenho muita aptidão para isso” “Dificuldade de intervir pois sendo uma pessoa interessada às vezes não gosto de falar em público”	4
Atitudes	Dificuldade em aceitar a opinião dos outros	“Não conseguirmos perceber o ponto de vista de outros colegas em relação a assuntos mais polémicos” “Por vezes entender de forma clara a posição de quem defendia um ponto de vista diferente do meu”	3

Cinco alunos referiram dificuldades em entender o que os colegas diziam, o que se deveu, algumas vezes, ao facto de os alunos quererem dar a sua opinião ao mesmo tempo. Quatro alunos referiram ter dificuldades em expor as suas opiniões em publico. Três alunos revelaram ter sentido dificuldades em compreender e aceitar algumas opiniões de alguns colegas.

Os comportamentos observados nos dois turnos foram muito semelhantes. De início revelaram constrangimento e dificuldade em iniciar a sua participação na reunião, mas à medida que as intervenções iam acontecendo a discussão generalizou-se à grande maioria dos alunos. As dificuldades enunciadas são reveladoras da necessidade de exposição a ambientes argumentativos promotores de competências em comunicação científica.

5.2.4. Dificuldades na actividade “Trabalho de Grupo”

Na tabela 8 estão sintetizados os resultados da análise de conteúdo às respostas dos alunos sobre dificuldades sentidas durante a actividade “trabalho de grupo”.

Outros alunos referiram dificuldades em seleccionar e resumir informação importante, bem como dificuldades na concepção gráfica dos pósteres.

Possivelmente, estas dificuldades poderiam ter sido superadas com um maior acompanhamento e auxílio da minha parte, contudo os cancelamentos de diversas aulas impediram o decorrer da actividade como previsto. De forma a contornar esta situação e minimizar os possíveis impactes negativos, tentei guiar e ajudar os alunos através de email e telefone. O empenho dos alunos, foi notório pois quase todos os grupos procuraram esclarecer as suas dúvidas e pedir aconselhamento através destes meios de comunicação, até durante o período de férias.

Tabela 8. - Análise das respostas à questão aberta sobre as dificuldades durante o trabalho de grupo

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Dificuldades na leitura e interpretação do artigo	Linguagem	“A capacidade de perceber o que está a ser dito dado estar escrito em língua estrangeira e ser muito denso” “Compreender o artigo, devido especialmente ao facto de estarem em inglês”	5
	Termos técnicos desconhecidos	“A escolha do artigo científico; perceber certos conceitos e métodos científicos” “Conseguir perceber a experiência na totalidade por causa dos conceitos e dos métodos”	7
Dificuldades na elaboração do Poster	Resumo	“Tentar resumir tanta informação num só cartaz” “Por vezes pode ser difícil resumir o tema e os seus detalhes sem privar os leitores de informação fundamental”	3
	Seleção de informação relevante	“Inicialmente, perceber que informação deviam ser incluídas no poster”	1
	Dificuldade gráfica	“dificuldades na parte gráfica (...)” “Fazer o poster pois não sei trabalhar bem no <i>Word</i> ”	2
Relação entre o grupo	Incompatibilidade de horários	“Falta de coincidência e compatibilidade dos horários dos vários membros”	1
	Dificuldades de comunicação	“Falta de comunicação com a minha parceira”	1

Os alunos enunciaram dificuldades na leitura e interpretação dos artigos científicos. Alguns alunos afirmaram que a maioria dos artigos sobre o tema estão publicados em inglês e apresentam termos técnicos desconhecidos, o que tornou a sua leitura e análise mais difícil.

Por fim, dois alunos revelaram dificuldades na relação entre os membros do grupo, evidenciando dificuldades de comunicação e incompatibilidade de horários.

Relativamente às melhorias que poderiam ser implementadas na reaplicação desta estratégia, os alunos referiram artigos científicos com uma linguagem mais acessível, disponíveis em português e com termos técnicos familiares aos alunos (tabela 4).

Tabela 9 - Análise das respostas à questão aberta sobre “O que podia ser melhorado no trabalho de grupo?”

Categoria	Subcategoria	Exemplos	Frequência
Artigos científicos	Linguagem	"A linguagem. Os artigos, apresentam uma linguagem pouco acessível, densa, que dificulta a leitura e torna o artigo aborrecido" "Os artigos serem em português"	2
Planificação e execução da actividade	Número de aulas	"O tempo em que o trabalho é feito" "Talvez mais tempo para realizar o trabalho e mais aulas dedicadas à análise dos artigos científicos"	2
	Número de aulas teóricas	"Apesar de ser muito enriquecedor perceber uma experiência sozinhos podia ajudar dar alguns conceitos dos artigos para ajudar a sua melhor compreensão" "Acho que podia ter havido mais aula teóricas sobre o CRISPR para se aprofundar a matéria"	2
	Acompanhamento	"Haver pequenas reuniões com um professor, antes de apresentar" "Mais aulas com professores dedicados ao trabalho para poderem ser tiradas duvidas directamente"	4

Em relação à planificação da actividade os alunos referiram que o aumento do número de aulas teóricas, antes da realização dos pósteres, teria sido benéfico para o conhecimento de mais técnicas de engenharia genética. Alguns mencionaram que o número de aulas dedicados à análise dos artigos e, conseqüentemente, um maior acompanhamento dos professores era fundamental para a melhoria da actividade.

As sugestões de melhoria, apresentadas pelos alunos, vão ao encontro das dificuldades enunciadas (tabela 3). Esta apreciação, por parte dos alunos, revela que os mesmos reconhecem que a actividade, apesar de complexa, seria mais acessível se a intervenção tivesse decorrido como planeada inicialmente.

Em suma, as principais dificuldades indicadas pelos alunos, ao longo da intervenção, foram a dificuldade em realizar as tarefas de forma autónoma e a necessidade de um maior acompanhamento por parte do professor. De facto, posso concluir que todas as actividades efectuadas poderiam ser realizadas com alterações que visassem um maior acompanhamento do professor, sem que se prejudicasse o desenvolvimento da autonomia dos alunos. Esse maior acompanhamento poderia ser alcançado através da elaboração de um ou mais documentos orientadores, bem como a colocação de questões que visassem orientar os alunos durante as actividades. A pré-selecção de alguns artigos de maior acessibilidade e/ou em português também poderia ser uma alteração a ser feita com o objectivo de ajudar os alunos a focar o seu tempo e esforço na análise, e não se sentirem tão perdidos na pesquisa. Contudo essa alteração retiraria, na minha opinião, um dos grandes benefícios desta actividade, a introdução à pesquisa científica, bem como limitaria o contacto dos alunos apenas a algumas técnicas e aplicações da engenharia genética

5.3. Aprendizagens potencializadas pela Sequência Didáctica

Para dar resposta à questão de investigação “Que aprendizagens são potencializadas ao longo de uma sequência didáctica sobre Engenharia Genética em que são realizadas diferentes actividades CTS?” utilizaram-se como fontes de dados as respostas dos alunos numa entrevista *focus group* realizada no início da sequência, as respostas ao questionário sobre as perspectivas dos alunos acerca das actividades, as observações realizadas ao longo das aulas registadas em caderno de campo e a análise dos pósteres apresentados pelos alunos na última aula da sequência.

Estes pósteres constituíram o produto de um projecto (actividade de “trabalho de grupo”) em que os alunos, trabalhando em grupo, realizaram uma pesquisa orientada na web com o objectivo de seleccionar um artigo científico que serviu de base à elaboração do póster.

5.3.1. Grupo Focal. Sumário das Intervenções dos Alunos

Nesta secção é apresentada, de forma sumária, a informação recolhida na análise das transcrições das intervenções dos alunos. Foram identificados quatro tópicos centrais de discussão: Ciência, o Cientista, a Tecnologia e a Engenharia Genética. Neste resumo, para cada tópico são apresentadas algumas das concepções e ideias iniciais dos alunos, acompanhadas sempre de citações que as ilustram.

Sobre a Ciência, esta foi definida por vários alunos como uma forma de conhecimento baseada na evidência e observação do mundo natural:

“Eu diria que é olhar para o mundo e tentar percebê-lo.”

“Fenómenos que implicam uma causa e um efeito porque a filosofia.... também é tentar compreender o mundo, mas não de um ponto de vista que é tão factual.”

“A ciência é o homem a tentar encontrar uma resposta para as coisas que vê e que não percebe.”

Foi também referido que a ciência baseia a sua acção num processo experimental conhecido e repetível:

“Então, a Ciência é responder a perguntas com o método científico. Responder a perguntas com a ajuda do método científico. Colocar uma hipótese, experimentar essa hipótese, e se a hipótese tiver resultado, ou não, também temos de considerar essas várias hipóteses, e chega-se um resultado.”

“Mas as experiências são quanto melhores, quantas mais repetições tiveres. É mais fiel à verdade.”

“A frequência com que o fenómeno se dá também pode garantir, sei lá, se o facto de todos os seres humanos que nasceram até hoje tinham 33 cromossomas... sim 33... ah são 46 cromossomas, peço desculpa, por princípio assume-se que um ser humano tem no seu código genético 46 cromossomas.”

Os alunos mencionaram que a ciência é de grande importância para a humanidade e para a história do homem devido à sua aplicação prática que resulta no desenvolvimento das sociedades, a vários níveis. Esta aplicação prática e utilidade, na opinião de alguns alunos, gerou nas sociedades humanas uma elevada confiança e credibilidade atribuída à ciência

“Em último caso saberes como socorrer uma pessoa tava morrendo ou saber os as teorias todas que o Aristóteles ...”

“A confiança vem de uma história de ... por exemplo, os cientistas descobriram as vacinas e perceberam que é eficiente e decidiram aplicar. A humanidade percebe que confiar nos cientistas melhora a saúde pública. Porque passam a ter acesso a determinadas vacinas e, portanto, cria-se um jogo entre ... aliás não faz sentido pensar que o cientista faria uma coisa falsa para nos enganar.”

“Eu acho que tem a ver, basicamente, com visar o bem-estar e desenvolvimento das pessoas, não só particularmente, como por exemplo é o caso da medicina, porque a medicina está muito ligada a ciência, mas também como na sociedade num todo porque os avanços e os progressos científicos e tecnológicos ajudam sempre a que haja um aumento do bem-estar da sociedade.”

Quando questionados sobre os limites da ciência foram dados como exemplo os limites éticos e morais, que poderiam ser impostos pelos próprios cientistas ou pelas sociedades e comunidades onde estes se inseriam. Quanto à existência de limites práticos a opinião não foi consensual, houve alunos que referiram a existência de limites para aquilo que a ciência poderia descobrir ou desenvolver, enquanto outros referiram que esses limites actuais seriam sempre superados à medida que a ciência e a tecnologia evoluíssem.

“Eu acho que sim, por exemplo, acho que um dos limites mais óbvios que a ciência deve ter, são limites morais e nesse aspecto eu acho que a filosofia se supera à ciência. Por exemplo, a criação de armas através da ciência e da tecnologia, como por exemplo a criação da bomba atômica... é possível, mas não sei se é muito moral depois utilizar.”

“Mas as questões metafísicas, por exemplo, não conseguem ser estudadas pela ciência.”

“Não sei se há limites práticos necessariamente.”

“Eu acho parvo pensar que a ciência pode provar a existência de Deus.”

“O problema é que não podemos descartar essa hipótese, se há 300 anos diziam que era impossível voar para a China em 10 horas.”

Sobre o Cientista os alunos responderam que este era influenciado pelas suas crenças e caracter. Que o próprio está sujeito aos seus próprios interesses económicos e políticos, e que no fundo está sujeito as mesmas condicionantes que todos os outros cidadãos.

“Acho que os poderes económico, ideológico e religioso influenciam, e muito.”

“Quando a refuta de uma teoria, é uma perseguição física. Como uma consequência, isso acaba sempre por o influenciar.”

“Eu acho que a própria igreja influenciou todos os possíveis cientistas acabando por muitas pessoas acabaram por se afastar do caminho que poderiam ter seguido, quer seja por medo, quer seja por concordarem com a igreja, por inúmeros motivos.”

“Eu acho que da mesma maneira que em qualquer outro trabalho, a política, a ciência, a religião pode ter influência no cientista, como pode ter noutra pessoa e, portanto, acho que é um bocado relativa a pergunta.”

“Então há muitos cientistas que não podem testar certas hipóteses, ou certos métodos, porque as pessoas que financiam a experiência e as universidades não querem que o seu nome e o seu dinheiro seja usado de formas tão ou menos éticas.”

“Acho que pode ser completamente influenciado. Acho que até certo ponto, é impossível não ser parcial.”

Quanto à tecnologia os alunos, revelaram uma grande dificuldade em estabelecer diferenças entre esta e a ciência

“Mas para tu teres o avanço da tecnologia, também precisas de ter conhecimento científico, portanto acho que não é assim tão diferente, acho que é a mesma coisa. Uma coisa implica a outra.”

Contudo os alunos acabaram por concordar que a tecnologia é uma instrumentalização do conhecimento científico.

“Sim, não digo que um não implica o outro. Mas estou a dizer que a tecnologia acaba sempre por ser mais uma ferramenta do que a ciência ela própria. A ciência acaba por ser o conhecimento que nos permite utilizar essas ferramentas e ter essas ferramentas.”

“Então pronto eu não digo servir. Digo a tecnologia devia ser usada como... nos devia fornecer necessidades básicas, o que ela não está a fazer hoje em dia, está a ser mal aplicada. Não digo servir.”

Um dado curioso foi que, quando questionados sobre exemplos de tecnologia, todos os alunos de ambos os turnos referiram sempre tecnologias digitais e diversas vezes o telemóvel.

“Mas um telemóvel não é ciência. Um telemóvel é tecnologia.”

“Eu acho que nós quando dizemos tecnologia agora, estamos habituados a ligar isso com...a tecnologia mais relacionada com a informática e com a revolução tecnológica que se deu.”

Sobre a engenharia genética, poucos alunos inicialmente tiveram algo a dizer contudo os alunos que responderam associaram-na primeiramente e quase instantaneamente a uma aplicação humana. Quando questionados sobre o que pensavam ser engenharia genética alguns alunos responderam:

“Fazer o aperfeiçoamento da raça humana.”

“Uma criança poder ter asas. Ou então clonada.”

“E pode, sei lá... isto não sei se é possível, mas tipo bebês “Ah quero o meu bebê com olhos azuis” e vai lá um engenheiro genético e faz.”

Mais tarde na entrevista alguns alunos associaram o termo engenharia genética à modificação de genes de produtos alimentares. Alguns alunos associaram também o termo a perigo.

“Sim, o milho. Há estatísticas que dizem que 100% do milho que nós comemos foi modificado geneticamente.”

“Acho que agora há melancias cúbicas no japão ou uma coisa assim. Que foram geneticamente alteradas para ter forma cúbica.”

“É perigosa, é muito perigosa”

A maioria dos alunos associaram este termo apenas como uma tecnologia muito futurista, havendo apenas alguns alunos que souberam relatar aplicações recentes.

“Agora não precisa, mas imagina se encontramos um planeta em que só dá para voar?”

“Quando nós acabarmos com todos os recursos na terra, vamos precisar de outro planeta e por isso as modificações são necessárias.”

“Actualmente não estou a ver nenhum.”

“Dá. Dá para as fábricas produzirem, por exemplo acho que a fermentação das bactérias vem da engenharia genética e isso dá para aumenta a produção de determinado composto ou produto.”

A análise das questões e da discussão, resultante da entrevista em grupo focal, pode concluir que a maior parte dos alunos nunca tinha reflectido sobre o que era a ciência e tecnologia e quais os impactes destas na sociedade. Muitos deles revelaram dificuldades em identificar aspectos fundamentais da natureza da ciência. Contudo, acho que o facto desta entrevista ter sido realizada antes da intervenção teve um impacto positivo para a forma como os alunos abordaram a intervenção didáctica, tornando-os mais atentos à relações CTS presentes nas actividades. Além disso, foi possível concluir que havia um grande desconhecimento sobre o que eram as técnicas de engenharia genética. A maioria dos alunos, associou essas tecnologias a tecnologias futuristas e longínquas ou apenas a aplicações no homem. Alguns alunos afirmaram que tais tecnologias seriam muito perigosas. Conclui-se a pertinência da intervenção didáctica executada, uma vez que apresenta aos alunos campos da engenharia genética controversos, nos quais as questões éticas estejam bem presentes na discussão da sua aplicação, bem como possibilitou aos alunos pesquisarem e aprofundarem os seus conhecimentos acerca de técnicas de engenharia genética bem estabelecidas e as vantagens que estas trouxeram à Humanidade

5.3.2. Questionário e registos das observações

A análise dos dados recolhidos demonstra que, para a maioria dos alunos, o trabalho de grupo realizado permitiu-lhes compreender o funcionamento de diferentes técnicas de engenharia genética, os ajudou a adquirir competências de pesquisa autónoma de artigos científicos e a perceber as potencialidades e limitações dos pósteres científicos, como meio de comunicação científica. Os dados indicam que os alunos foram capazes, com auxílio da

estratégia implementada, adquirir competências de selecção e resumo de informação importante, bem como estar aptos a apresentá-la a uma audiência.

Os alunos destacaram também a aquisição e desenvolvimento de competências como a autonomia e o trabalho em grupo e ainda competências relacionadas com a realização de pósteres científicos, como o resumo e apresentação criativa de informação. (Figura 9 e Tabela 5).

A opinião dos alunos divide-se quando questionados sobre a capacidade da estratégia implementada, para o adquirir de competências de avaliação da qualidade de um artigo científico, e no que respeita a conseguir distinguir artigos de investigação de artigos de revisão (Figura 9).

Após a análise do relato da minha intervenção, posso concluir que a realização desta estratégia, inicialmente, espantou muito os alunos, pois estes não se achavam capazes de a terminar. Contudo, o facto de o tema ter gerado interesse na maioria dos alunos e, durante esta actividade, terem descoberto aplicações práticas e actuais das técnicas de engenharia genética, ajudou a motivá-los e a ganhar ânimo para concluírem o trabalho com sucesso.

Foi notória uma grande dificuldade na organização das diferentes tarefas em grupo, principalmente no planeamento e gestão de tempo de todas as partes do trabalho que tinham de completar.

5.3.3. Análise dos pósteres

A avaliação dos pósteres, produzidos pelos grupos e a sua respectiva apresentação, foi realizada com auxílio de uma rubrica (apêndice 8.4).

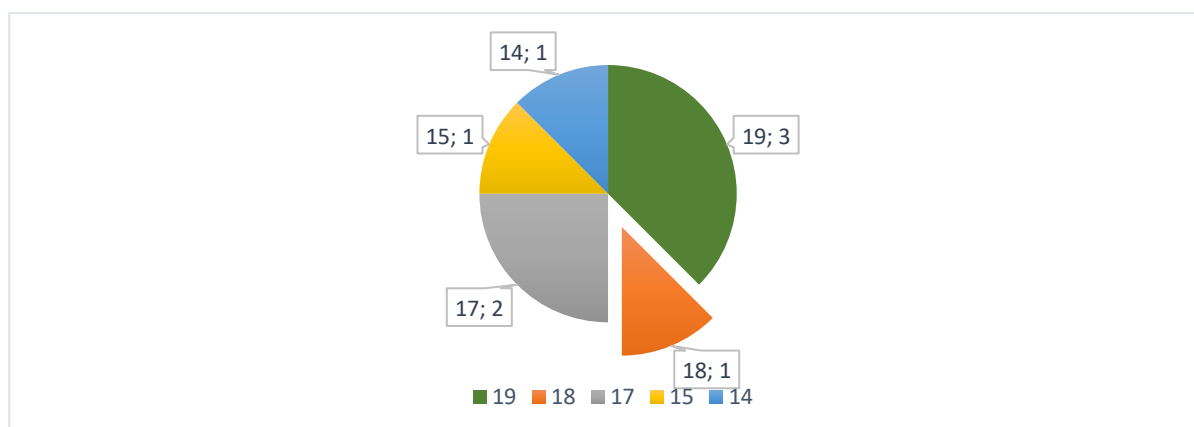


Figura 10. Avaliação dos pósteres.

Os resultados da avaliação foram muito positivos com as classificações compreendidas entre os 14 e 19 valores, e uma média de 16,6 valores (Figura 10).

A rubrica de avaliação está dividida em duas secções. A primeira, incide sobre a vertente estética e criativa do póster e divide-se em 7 parâmetros, pontuados de 1 a 5, correspondendo a 40% da classificação final. A segunda secção incide nos conteúdos científicos presentes no póster e está dividida em 6 parâmetros de avaliação, pontuados de 1 a 5, correspondendo a 60% da classificação final.

A análise da figura 11 revela os bons resultados obtidos pelos grupos nesta vertente do trabalho. Contudo, alguns grupos demonstraram mais dificuldades no *design* gráfico. Uma possível razão para esta dificuldade, evidenciada na avaliação, pode ter-se prendido com o facto de que muitos alunos não tinham experiência na elaboração de pósteres e não estavam familiarizados com os *softwares* que utilizaram.

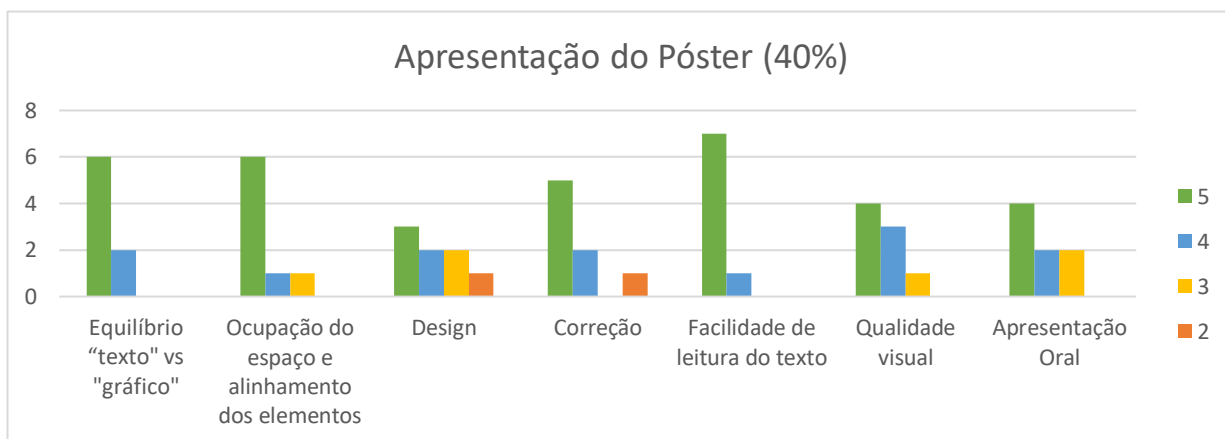


Figura 11. Classificações (1 a 5) dos diferentes grupos nos diferentes critérios de avaliação da apresentação dos pósteres

A análise da figura 12 permite-nos constatar que, do ponto de vista dos conteúdos científicos presentes e do rigor da sua apresentação, a maioria dos grupos também obteve bons resultados. Porém, um dos grupos apresentou o valor de classificação mais baixo no parâmetro que dizia respeito à conclusão por não a ter colocado incluído no seu poster. Alguns grupos também não colocaram a referência do artigo científico que consultaram, apenas referenciaram aos autores durante a apresentação oral.

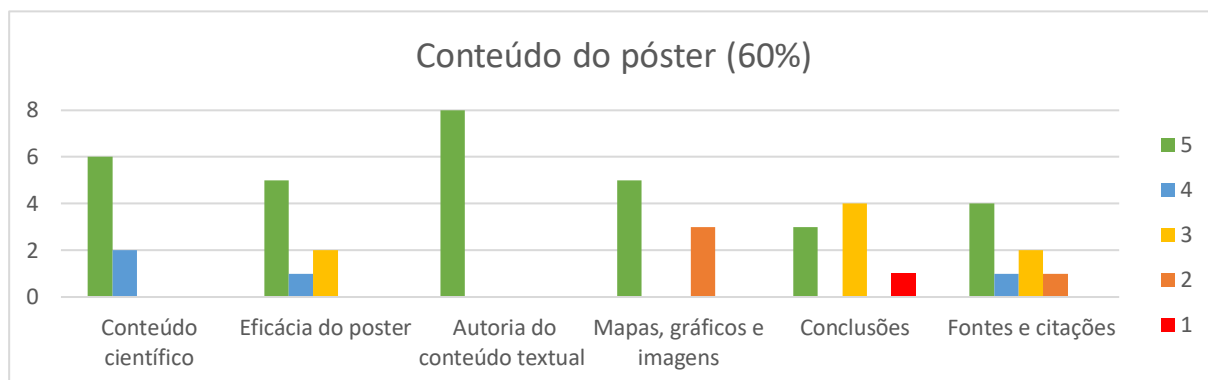


Figura 12. Classificações (1 a 5) dos diferentes grupos nos diferentes critérios de avaliação dos conteúdos dos pósteres

Com base na observação feita em aula, na análise dos documentos produzidos e nas respostas aos questionários, penso que a actividade era, de facto, bastante desafiante para a maioria dos alunos, e que se impunha um maior apoio e número de aulas para que estes se sentissem confortáveis e confiantes na realização desta tarefa. Desta forma, muitas das dificuldades apontadas pelos alunos poderiam ter sido ultrapassadas e possivelmente obter-se-iam melhores resultados.

Não obstante, a evidencia indica que a estratégia foi bem-sucedida, isto é demonstrado pelas altas classificações dos diferentes grupos, em praticamente todos os parâmetros de avaliação utilizados. Na opinião dos alunos esta estratégia possibilitou uma aprendizagem autónoma dos conceitos abordados, bem como a aquisição e desenvolvimento de competências de comunicação e trabalho em grupo. Alguns alunos também referiram como positivo o contacto próximo e aprofundamento de aplicações práticas destas tecnologias. De facto, durante a minha intervenção pude comprovar, nas aulas de pesquisa e análise dos artigos científicos, o espanto e entusiasmo dos alunos ao descobrirem aplicações da engenharia genética, que até este momento lhes eram totalmente desconhecidas ou inconcebíveis.

A realização, em grupo, de uma pesquisa orientada, da elaboração de um póster científico e a sua respectiva apresentação proporcionaram aos alunos a compreensão do funcionamento de diferentes técnicas de engenharia genética, bem como uma maior consolidação dos conhecimentos já adquiridos sobre este tema. Esta estratégia contribuiu para o desenvolvimento de competências de trabalho autónomo, pesquisa, selecção e resumo de informação importante. Também permitiu o desenvolvimento de competências de comunicação

oral e visual, o que coincide com a bibliografia consultada. (Kerr, Murray, Moore & Nonhebel, 2000)

Adicionalmente os dados apontam para a aquisição de conhecimentos acerca das potencialidades e limitações dos pósteres científicos como meios de comunicação em Ciência, em especial na aprendizagem da comunicação através de imagem e as suas potencialidades, que vão de acordo com os autores Watson & Lom. (2008)

Por fim, esta estratégia permitiu que os alunos observassem e entendessem, uma ligação directa entre a ciência e a tecnologia e os seus impactes na sociedade.

6. Conclusão e Reflexão

A minha primeira vivência como educador em ciência começou em 2014, num centro de estudo. Nesse centro de estudo, a minha tarefa era auxiliar crianças, desde os 10 até aos 17 anos de idade, na compreensão e execução dos trabalhos de casa. Nessa experiência apercebi-me que a grande maioria dos alunos não compreendia, de facto, os conhecimentos científicos que adquiria na escola e, acima de tudo, que não nutriam qualquer tipo de afecto ou fascínio pelos temas que abordavam na sala de aula. A meu ver, era algo chocante pois para mim a Ciência, em particular as ciências naturais, foi, desde cedo, uma disciplina do saber que sempre me entusiasmou e me fez exclamar de admiração. Para mim é arrebatador ver tudo o que o nosso planeta oferece e ver como o Homem é capaz de extrair dele tudo o que necessita para a sua sobrevivência e desenvolvimento.

Nessa altura, começou a crescer dentro de mim o desejo e vontade de pôr a minha paixão pela Ciência e pelo mundo natural, bem como, pôr a minha experiência a lidar com crianças, em prática. Nesse ano, comecei a ponderar, seriamente, seguir a profissão de professor, o que se concretizou mais tarde, no final da minha licenciatura, quando me candidatei ao Mestrado de Ensino e no qual fui admitido.

Nas primeiras trocas de email com a professora Carla Kulberg, percebi que teria de realizar primeiro um *minor* em Geologia, informação que não aceitei com grande entusiasmo. No entanto, após a conclusão do *minor* não podia estar mais satisfeito. Durante o *minor*, na Faculdade de Ciências de Lisboa, adquiri imensos conhecimentos sobre uma área para a qual teria de estar preparado e sentir-me confortável a leccionar, mas, principalmente, contactei e aprendi com diversos professores que me ajudaram a concluir os estudos em Geologia, certificando-se que realmente aprendia e não me limitava a decorar matéria. O contacto com esses professores não só permitiu complementar a minha formação científica, mas também absorver alguns bons exemplos e modelos que pretendo seguir no futuro como professor tais como, algumas das suas abordagens práticas e, acima de tudo, o empenho e preocupação que tinham nas aprendizagens dos seus alunos.

Na entrada para o mestrado, um dos acontecimentos que mais me marcou foi o contacto com a professora Isabel Chagas, nas disciplinas de Didáctica da Biologia e Geologia. Nestas aulas fui introduzido às temáticas da Natureza da Ciência e às estratégias CTS. Estes dois temas foram muito importantes para a minha formação no Instituto de Educação, visto que a compreensão da natureza da ciência, bem como a aplicação de estratégias CTS, permite aos alunos uma aprendizagem muito mais significativas dos conteúdos. Através destas componentes, os alunos entendem a natureza da própria ciência que estudam e também percebem algumas das suas implicações, implicações essas que podem estender-se à sociedade, à tecnologia e ao dia-a-dia do aluno.

A possibilidade de demonstrar aos alunos, através das minhas aulas, como a ciência da Biologia e da Geologia são actuais e de extrema importância na edificação da sociedade em que vivemos, foi algo que me agradou muito, e para o qual não estava desperto antes de frequentar o mestrado.

Contudo, no contacto com a escola, proporcionado nas disciplinas de Iniciação à Prática Profissional, pude concluir que a realidade da escola é bem diferente daquilo que imaginava e que, na verdade, os professores lidam com muito mais do que apenas as matérias científicas das suas áreas de conhecimento. Percebi que a vida na escola, apesar de se encontrar cheias de desafios e possíveis contratempos encontra-se também cheia de alunos que anseiam estratégias didácticas mais centradas no aluno.

Na Iniciação à Prática Profissional IV, procurei transmitir aos alunos um tema actual e controverso como a engenharia genética e a sua aplicação em humanos. Com a apresentação desta grande temática, tentei interessar os alunos por este assunto, pois penso que, no futuro, irá sofrer grandes desenvolvimentos e que, por esse motivo, os conhecimentos sobre estas matérias e estas técnicas serão fundamentais para as gerações futuras. Com vista a aplicar este tema, escolhi uma série de actividades CTS que visassem apresentar-lhes diversas técnicas de engenharia genética, e como estas eram aplicadas actualmente. Além disso, tendo em conta os alunos da turma que me foi confiada, e dada a tradição da realização de debates e discussões no colégio, pareceu-me evidente que uma discussão sobre a ética de um tema tão controverso como a edição genética em humanos, apresentaria uma oportunidade de os alunos reflectirem sobre as suas aprendizagens, bem como aperceberem-se que a ciência não é um conhecimento

incólume e intocável mas sim um complexo empreendimento humano, fruto de varias relações entre a Ciência, Tecnologia e a Sociedade.

O balanço que faço da intervenção realizada é bastante positivo. A intervenção proporcionou, aos alunos, uma aprendizagem do que é a Engenharia Genética e algumas das suas técnicas, mas, acima de tudo, permitiu contactarem directamente com o que é a ciência da actualidade e aperceberem-se na de vários aspectos com ela relacionados, como a sua comunicação, o seu funcionamento, as controvérsias que levantam, bem como os impactes que causa na sociedade a níveis, económicos, ambientais, políticos e na Saúde.

Contudo, os diversos contratempos que ocorreram na intervenção tornaram evidente algumas das dificuldades sentidas pelos alunos. As interrupções e a extensão temporal da intervenção levaram a que no final se sentisse alguma extenuação dos alunos em relação ao tema. O cancelamento da feira da ciência do colégio poderá ter causado a perda de motivação dos alunos, uma vez que o trabalho que inicialmente iria ser apresentado a toda a comunidade escolar e pais, passou a ser apenas apresentado aos seus colegas de turma. Outro ponto negativo evidenciado pelo feedback dos alunos, e também notado por mim, foi que para alguns alunos a elevada autonomia, requerida pelas actividades, propostas não foi benéfica. Para tal, numa intervenção futura procuraria criar instrumentos de orientação, que pudessem guiar os alunos e respectivos grupos na realização das tarefas propostas e não ficarem tao dependentes da orientação directa do professor.

A realização de uma segunda entrevista de grupo focal poderia ter sido muito benéfica para melhor compreender de que forma evoluíram as concepções dos alunos sobre os temas Ciência, Tecnologia e Engenharia genética.

Outra das sugestões dadas com a qual me revejo, seria a criação de uma actividade laboratorial que permitisse aos alunos um contacto mais directo com uma ou mais técnicas de engenharia genética.

Por fim, a minha experiência no colégio, não se resumiu apenas à intervenção na turma de 12º ano. Ainda antes de começar a intervenção, fui convidado pela direcção do colégio a assumir uma baixa de maternidade em duas turmas do 8º ano. Esta oportunidade, de leccionar duas turmas do 8º ano, ao mesmo tempo que decorria a intervenção permitiu me ter uma percepção dos obstáculos e desafios que um professor enfrenta, adquiri uma serie de

competências de gestão de sala de aula e uma maior confiança e à vontade perante os alunos que foram úteis durante a intervenção e que serão também úteis no futuro. Por fim, a convivência com o professor cooperante foi muito importante. Com ele, aprendi e testemunhei que um professor deve estar sempre preocupado com a aprendizagem individual de cada aluno e, acima de tudo, reflectir recorrentemente sobre a sua prática. Um professor deve estar disponível e seguro de si próprio, e das duas capacidades, para conseguir adaptar, constantemente, as suas estratégias e procurar sempre um melhor resultado no ensino-aprendizagem de cada um dos seus alunos.

Após todas estas vivências, concludo o mestrado munido de conhecimentos, ferramentas, competências, testemunhos e exemplos que me serão sem dúvida muito úteis no meu percurso como professor, que apesar de por diversas vezes parecer demasiado difícil me faz sentir tão realizado por me permitir participar na formação de crianças e jovens e para eles puder passar o meu gosto por algo que tanto me fascina como as Ciências Naturais.

7. Referências

- Aikenhead, G. (2009). *Educação científica para todos*. Ramada: Pedago.
- Allchin, D. (1999). Values in science: An educational perspective. *Science & Education*, 8(1), 1-12.
- Berg, P. (2008). Asilomar 1975: DNA modification secured. *Nature*, 455, 290-291.
- Berk, R. A. (2009). Multimedia teaching with video clips: TV, movies, YouTube, and mtvU in the college classroom. *International Journal of Technology in Teaching & Learning*, 5(1), 1-21.
- Bogdan, R., & Biklen, S. (1994). *Investigação qualitativa em educação: Uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora.
- Brookfield, S. & Preskill, S. (2012). *Discussion as a way of teaching: Tools and techniques for democratic classrooms*. San Francisco, E.U.A.: John Wiley & Sons.
- Cavalli, M., Cáceres, E., Iansen, D. & Schneider, E. (2014). Eugenia e engenharia genética: a proposta de um módulo didático na abordagem Ciência, Tecnologia E Sociedade – CTS. In D. Ribeiro & C. Fernandes (Orgs.). *Atas do II Seminário Estadual do PIBID do Paraná* (pp 1039-1043). Foz do Iguaçu, Brasil: PIBID/DR.
- Chaer, G., Diniz, R., & Ribeiro, E. (2011). A técnica do questionário na pesquisa educacional. *Revista Evidência*, 7(7), 251-260.
- Chan, V. (2011). Teaching oral communication in undergraduate science: Are we doing enough and doing it right? *Journal of Learning Design*, 4(3), 71-79.
- Chen, D., & Stroup, W. (1993). General system theory: Toward a conceptual framework for science and technology education for all. *Journal of Science Education and Technology*, 2(3), 447-459.
- Cho, J., & Trent, A. (2006). Validity in qualitative research revisited. *Qualitative research*, 6(3), 319-340.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582–601.
- Dias, C., & Morais, J. (2004). Interação em sala de aula: Observação e análise. *Revista Referência*, 11, 4-58.
- Dillon, J. (1994). *Using discussion in classrooms*. Open University.

- Dori, Y. Tal, R., & Tsaushu, M. (2003). Teaching biotechnology through case studies. Can we improve higher order thinking skills of nonscience majors? *Science Education*, *87*, 767-793.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, *84*(3), 287-312.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, *22*(9), 2109-2139.
- Evagorou, M., & Dillon, J. (2020). Introduction: Socio-scientific issues as promoting responsible citizenship and the relevance of science. In M. Evagorou, J. Nielsen, & J. Dillon. *Science teacher education for responsible citizenship* (pp. 1-10). Berlin, Akemanha: Springer.
- Fraenkel, J., Wallen, N., & Hyun, H. (2011). *How to design and evaluate research in education*. New York: McGraw-Hill Humanities/Social Sciences/Languages.
- Furtado, L. & Vasconcelos, S. (2019). Contribuições do enfoque ciência, tecnologia, sociedade em uma unidade de aprendizagem: um relato de experiência no ensino da genética. *Brazilian Journal of Education, Technology and Society*, *12*, 382-397.
- Geurts, M. H., de Poel, E., Amatngalim, G. D., Oka, R., Meijers, F. M., Kruisselbrink, E. ... & Muilwijk, D. (2020). CRISPR-based adenine editors correct nonsense mutations in a cystic fibrosis organoid biobank. *Cell Stem Cell*. *26*(4), 503-510.
- Gondim, S. (2003). Grupos focais como técnica de investigação qualitativa: desafios metodológicos. *Paidéia*, *12*(24), 149-161.
- Hanna, K. (Ed.) (1991). *Biomedical politics*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Hay, I., & Thomas, S. M. (1999). Making sense with posters in biological science education. *Journal of Biological Education*, *33*(4), 209-214.
- Hylton, R (2020, Abril 17). *The first use of CRISPR to treat a genetic disease in a live patient*. Retirado de <https://lions-talk-science.org/2020/04/17/the-first-use-of-crispr-to-treat-a-genetic-disease-in-a-live-patient/>
- Hofstein, A., Aikenhead, G. & Riquarts, K. (1988). Discussions over STS at the fourth IOSTE symposium. *International Journal of Science Education*, *10*(4), 357-366.
- IEUL (2016). *Carta Ética para a Investigação em Educação e Formação do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa*. Diário da República, 2.^a série – N.º 52 – 15 de março de 2016. Disponível em <http://www.ie.ulisboa.pt/investigacao/comissao-de-etica>

- Jackson II, R., Drummond, D., & Camara, S. (2007). What is qualitative research? *Qualitative Research Reports in Communication*, 8(1), 21-28.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A. & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816-821.
- Kerr, W., Murray, R., Moore, B., & Nonhebel, D. (2000). An integrated communication skills package for undergraduate chemists. *Journal of Chemical Education*, 77(2), 191.
- Kleinstiver, B. P., Pattanayak, V., Prew, M. S., Tsai, S. Q., Nguyen, N. T., Zheng, Z., & Joung, J. K. (2016). High-fidelity CRISPR-Cas9 nucleases with no detectable genome-wide off-target effects. *Nature*, 529(7587), 490-495.
- Krasilchik, M. (2004). *Prática de ensino de biologia*. São Paulo: Edusp.
- Khan, S., Ullah, M. W., Siddique, R., Nabi, G., Manan, S., Yousaf, M. & Hou, H. (2016). Role of recombinant DNA technology to improve life. *International journal of genomics*, vol. 2016, Artigo ID 2405954, 14 páginas.
- Kormondy, E. (1990). Ethics & values in the biology classroom. *The American Biology Teacher*, 52(7), 403-407.
- Korpan, C., Bisanz, G. L., Bisanz, J., & Snyder, J. (1999. março). *Reading news briefs about science: How education is related to the questions people ask*. Comunicação apresentada no Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Boston. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED446924.pdf>
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Scott, M. P., Bretscher, A., ... & Matsudaira, P. (2008). *Molecular cell biology*. New York, NY: Freedman.
- Luo, Y. (Ed.) (2019). *CRISPR gene editing methods and protocols*. New York, NY: Springer.
- McComas, W., Clough, M. & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In W. McComas (Ed.) *The nature of science in science education* (pp.3-39). Dordrecht, Países-Baixos: Kluwer Academic Publishers.
- McGinnis, J. R., & McDonald, C. (2011). *Controversial or sensitive topics in science education: A literature review*. Disponível em: <https://cutt.ly/AsCaR1i>
- Millar, R. (2002). Towards a science curriculum for public understanding. In S. Amos & R. Boohan (Eds). *Teaching science in secondary schools: A reader* (pp. 112-128). Londres, Inglaterra: Routledge e Open University.

- Ministério da Educação (2018). Aprendizagens essenciais. Biologia 12º ano. Ensino Secundário. Disponível em: <https://rb.gy/uqkw2h>
- Ministério da Educação. (2004). *Programa de Biologia 12º ano – Curso Científico Humanístico de Ciências e Tecnologias*. Lisboa: Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular.
- Ministério da Educação e Gabinete de Avaliação Educacional (2004). *Resultados do estudo internacional PISA 2003*. Lisboa: Ministério da Educação.
- Morbioli, G., Mazzu-Nascimento, T., Aquino, A., Cervantes, C., & Carrilho, E. (2016). Recombinant drugs-on-a-chip: The usage of capillary electrophoresis and trends in miniaturized systems. A review. *Analytica Chimica Acta*, 935, 44–57. doi:10.1016/j.aca.2016.06.019
- Morgan, D. L. (1997). *Focus groups as qualitative research*. Thousand Oaks, CA: Sage publications.
- Moura, B. (2014). O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da Ciência. *Revista Brasileira de História da ciência*, 7(1), 32-46.
- National Science Teachers Association (2020). *NSTA Position statement: Nature of science*. Disponível em: <https://rb.gy/yrnk1a>
- National Science Teachers Association (2016). *NSTA Position statement: Teaching science in the context of societal and personal issues*. Disponível em: <https://rb.gy/yrnk1a>
- National Science Teachers Association (2007). *Science-technology-society* (NSTA position statement). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- National Science Teachers Association (1982). *Science/technology/society: Science education for the 1980s* (NSTA Position Statement). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- NHGRI, 2020a, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Deoxyribonucleic-Acid>
- NHGRI, 2020b, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Nucleotide>
- NHGRI, 2020c, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://www.genome.gov/genetics-glossary/DNA-Replication>
- NHGRI, 2020d, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://ghr.nlm.nih.gov/primer/basics/dna>

- NHGRI, 2020d, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Gene>
- NHGRI, 2020e, Março. Portal do National Human Genome Research Institute. Retirado de <https://www.genome.gov/genetics-glossary/RNA-Ribonucleic-Acid>
- Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18(1), 43-65.
- Nicholl, D. S. (2008). *An introduction to genetic engineering*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Nihongaki, Y., Otabe, T., Ueda, Y. & Sato, M. (2019). A split CRISPR–Cpf1 platform for inducible genome editing and gene activation. *Nature Chemical Biology*, 15(9), 882-888.
- Nishimasu, H. & Nureki, O. (2017). Structures and mechanisms of CRISPR RNA-guided effector nucleases. *Current Opinion in Structural Biology*, 43, 68-78.
- Ogens, E. M. (1991). A review of science education: Past failures, future hopes. *The American Biology Teacher*, 53(4), 199-203.
- Parker, W. & Hess, D. (2001). Teaching with and for discussion. *Teaching and teacher education*, 17(3), 273-289.
- Pearce, J., Mulder, R., & Baik, C. (2009). Involving students in peer review. *Case studies and practical strategies for university teaching*. Melbourne, Australia: CSHE.
- Pennisi, E. (2013). The CRISPR craze. *Science*, 341, 833–836.
- Pérez, L. (2012). *Questões sociocientíficas na prática docente*. São Paulo, Brasil: Editora UNESP.
- Proulx, G. (2004). Integrating scientific method & critical thinking in classroom debates on environmental issues. *The American Biology Teacher*, 66(1), 26-33.
- Rackaway, C. (2012). Video killed the textbook star? Use of multimedia supplements to enhance student learning. *Journal of Political Science Education*, 8(2), 189-200.
- Rebelo, D., Mendes, A. & Soares, R. (2009). O ensino da Biologia numa perspectiva CTS: um exemplo para a abordagem da unidade curricular - Património genético. In F. Paixão & F. Jorge (Coord.). *Educação e formação: ciência, cultura e cidadania. Actas XIII Encontro Nacional de Educação em Ciências* (pp.264-271). Castelo Branco: Escola Superior de Educação, Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Reis, P. (1997). *A promoção do pensamento através da discussão dos novos avanços na área da*

- biotecnologia e da genética*. Tese de Mestrado não publicada. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Reis, P. (2004). *Controvérsias sócio-científicas: discutir ou não discutir? Percursos de aprendizagem na disciplina de ciências da Terra e da vida*. Tese de Doutoramento não publicada. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Reis, P. & Pereira, M. (1998). Discutindo o “Admirável Mundo Novo”. *Inovação*, 11, 45-59.
- Sadler, T. D., & Dawson, V. (2012). Socio-scientific issues in science education: Contexts for the promotion of key learning outcomes. In B. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie (Eds.). *Second international handbook of science education* (pp. 799-809). Berlim, Alemanha: Springer.
- Safari, F., Zare, K., Negahdaripour, M., Barekati-Mowahed, M. & Ghasemi, Y. (2019). CRISPR Cpf1 proteins: structure, function and implications for genome editing. *Cell & Bioscience*, 9(1), 36.
- Santos, E. (2006). *O ensino das ciências e literacia científica. O caso dos organismos geneticamente modificados*. Dissertação de Mestrado não publicada. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. Rutgers University Press.
- Shi, H., Jiang, M. & Wang, Z. (2017). Comprehensive update on applications of CRISPR/Cas9 for hematological diseases. *Int J Clin Exp Med*, 10(8), 11409-11423.
- Simonneaux, L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education*, 23(9), 903-927.
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). *The ROSE Project. An overview and key findings*. Disponível em: <https://cutt.ly/asCfxLo>
- Spier-Dance, L. (2003). Uniting the two solitudes: Removing the boundaries between classroom and laboratory in an undergraduate STS forensic science class for nonscience majors. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 23(4), 274-280.
- Steinbrecher, R. A., & Paul, H. (2017). New genetic engineering techniques: Precaution, risk, and the need to develop prior societal technology assessment. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 59(5), 38-47.

- Tebas, P., Stein, D., Tang, W.W., Frank, I., Wang, S.Q., Lee, G., Spratt, S.K., Surosky, R.T., Giedlin, M.A., Nichol, G., et al. (2014). Gene editing of CCR5 in autologous CD4 T cells of persons infected with HIV. *N. Engl. J. Med.* 370, 901–910.
- Vieira, R. M., Tenreiro-Vieira, C. & Martins, I. (2011). *A educação em ciências com orientação CTS*. Porto: Areal Editores.
- Wang, L., Rao, C., Gao, K., Li, Y., Fu, Z., Bi, H. & Wang, J. (2013). Development of a reference standard of Escherichia coli DNA for residual DNA determination in China. *PLOS ONE*, 8(9).
- Watson, F., & Lom, B. (2008). More than a picture: helping undergraduates learn to communicate through scientific images. *CBE – Life Sciences Education*, 7(1), 27-35.
- Wiedenheft, B., Sternberg, S. H. & Doudna, J. A. (2012). RNA-guided genetic silencing systems in bacteria and archaea. *Nature*, 482(7385), 331-338.
- WHO (2020, Março). *Portal da World Health Organization*. Retirado de <https://www.who.int/news-room/detail/29-08-2019-who-launches-global-registry-on-human-genome-editing>
- Yager, R. (1993). Science-technology-society as reform. *School Science and Mathematics*, 93(3), 145-151.
- Zhang, F., Wen, Y. & Guo, X. (2014). CRISPR/Cas9 for genome editing: progress, implications and challenges. *Human molecular genetics*, 23(R1), R40-R46.
- Ziman, J. (1984). *An introduction to science studies: The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ziman, J. M. (1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zimmerman, C., Bisanz, G., Bisanz, J., Klein, J. & Klein, P. (2001). Science at the supermarket: A comparison of what appears in the popular press, experts' advice to readers, and what students want to know. *Public Understanding of Science*, 10(1):37-58.

8. Apêndices

8.1 - Planificações das aulas

<i>Aula 1 “Introdução à Engenharia genética”</i>	
Data: 13 e 18 de Março de 2019	
Sumário: <ul style="list-style-type: none">• Introdução à engenharia genética.• Visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre—CRISPR”.• Pesquisa online por artigos e técnicas de engenharia genética.	
Objectivos específicos: <ul style="list-style-type: none">• Entender o conceito de engenharia genética, conhecer a sua história e quais as suas possíveis aplicações e riscos.• Começar a delinear o trabalho de projecto, a ser desenvolvido em grupo, para a realização e apresentação de pósteres científicos. Competências: <ul style="list-style-type: none">• Interpretação,• Curiosidade• Respeito pela aprendizagem dos colegas• Criatividade• Pesquisa online• Pesquisa científica• Pensamento crítico.	Conceitos e Conteúdos: <ul style="list-style-type: none">– Introdução à engenharia genética
Resumo das actividades <ul style="list-style-type: none">• Aula transmissiva, envolvendo os alunos numa discussão orientada através da colocação de questões e exploração de um vídeo sobre a engenharia genética.• Pesquisa online por artigos e técnicas de engenharia genética sobre a qual irão realizar o trabalho de projecto.	
Recursos / Materiais	Avaliação

<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Projector - Multimédia 	- Observação Livre
---	--------------------

<i>Aula 2 “Técnicas de Engenharia Genética”</i>	
Data: 20 e 25 de Março de 2019	
Sumário: <ul style="list-style-type: none"> • Pesquisa online por artigos e técnicas de engenharia genética. 	
<p>Objectivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir qual o artigo científico a ser trabalhado e começar a sua análise. <p>Competências:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interpretação de informação • Curiosidade • Criatividade • Pesquisa online • Pesquisa científica • Resolução de problemas • Gestão de projectos • Cooperação e trabalho de equipa • Pensamento crítico • Tolerância e empatia para com o outro 	<p>Conceitos e Conteúdos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas de engenharia genética
<p>Resumo das actividades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aula transmissiva, envolvendo os alunos numa discussão orientada através da colocação de questões e exploração de um vídeo sobre a engenharia genética. • Pesquisa online por artigos e técnicas de engenharia genética sobre a qual irão realizar o trabalho de projecto. 	
Recursos / Materiais	Avaliação
<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Projector - Multimédia 	- Observação Livre

<i>Aula 3 “Técnica CRISPR/Cas9 - Entrevista a um cientista”</i>	
Data: 29 de Março de 2019	
Sumário: <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista ao Professor convidado 	
Objectivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> • Compreender a técnica de engenharia genética CRISPR/Cas-9 entrevistar um cientista Competências: <ul style="list-style-type: none"> • Interpretação de informação • Pensamento crítico • Comunicação oral e associação de diferentes conhecimentos de matriz científica 	Conceitos e Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> – Técnica de engenharia genética: CRISPR/Cas-9
Resumo das actividades <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista a um cientista 	
Recursos / Materiais	Avaliação
<ul style="list-style-type: none"> – Computador – Projector – Multimédia 	<ul style="list-style-type: none"> - Observação Livre

<i>Aula 4 “Discussão: Devemos alterar os nossos genes?”</i>	
Data: 1 e 3 de Abril de 2019	
Sumário: <ul style="list-style-type: none"> • Visualização do documentário “<i>Designer DNA</i>”. • Discussão acerca da ética da aplicação da técnica de engenharia genética CRISPR/Cas-9 na alteração de genes em humanos. 	
Objectivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> • Bioética na edição de genes em Humanos. Competências: <ul style="list-style-type: none"> • Interpretação de informação • Pensamento crítico • Tolerância e empatia para com o outro • Comunicação oral e associação de diferentes conhecimentos de matriz científica 	Conceitos e Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> – Bioética na edição de genes em Humanos.

<ul style="list-style-type: none"> • Humanística para a formulação de argumentos. 	
Resumo das actividades <ul style="list-style-type: none"> • Visualização do documentário “<i>Designer DNA</i>”. • Discussão acerca da ética da aplicação da técnica de engenharia genética CRISPR/Cas-9 na alteração de genes em humanos. 	
Recursos / Materiais	Avaliação
<ul style="list-style-type: none"> – Computador – Projector – Multimédia 	- Observação Livre

Aula 4 “Discussão: Devemos alterar os nossos genes?”	
Data: 6 e 8 de Maio de 2019	
Sumário: <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos pósteres científicos sobre técnicas de engenharia genética. 	
Objectivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> • Compreender e saber explicar as possíveis técnicas de engenharia genética Competências: <ul style="list-style-type: none"> • Interpretação de informação • Criatividade • Comunicação oral • Resolução de problemas e gestão de projectos • Cooperação e trabalho de equipa • Pensamento crítico 	Conceitos e Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> – Técnicas de engenharia genética
Resumo das actividades <ul style="list-style-type: none"> • Visualização do documentário “<i>Designer DNA</i>”. • Discussão acerca da ética da aplicação da técnica de engenharia genética CRISPR/Cas-9 na alteração de genes em humanos. 	
Recursos / Materiais	Avaliação
<ul style="list-style-type: none"> – Computador – Projector – Produtos finais dos alunos 	– Grelha de observação

8.2 - Questionário

Questionário

Perspectivas de alunos do 12º do Colégio São Tomás sobre uma abordagem CTS no ensino da engenharia genética

Este questionário está a ser realizado no âmbito da dissertação de Mestrado em Ensino de Biologia e de Geologia, com o objectivo de entender qual o impacto de uma abordagem “CTS”, sobre a ética da terapia genética em humanos, na compreensão das relações Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Este questionário é anónimo, não existem resposta certas ou erradas e pretende-se apenas conhecer a opinião dos alunos.

1. Dados Pessoais

a. Género: Masculino Feminino

b. Idade: _____

A. Vídeos

	Concordo totalmente	Concordo	Discordo	Discordo totalmente
A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a interessar-me pelo tema da engenharia genética.				
A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a entender conceitos básicos da engenharia genética.				
A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a perceber as potencialidades da engenharia genética.				
A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a compreender o impacto de uma tecnologia na sociedade.				
A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a compreender a evolução de tecnologias de edição de genes ao longo da história				

A visualização do vídeo “A Engenharia Genética Mudará Tudo Para Sempre” ajudou-me a entender o que é o CRISPR-CAS 9				
A visualização do documentário “Designer DNA” da série documental “ <i>Explained</i> ” ajudou-me a compreender questões éticas relacionadas com a edição de genomas em humanos				
A visualização do documentário “Designer DNA” da série documental “ <i>Explained</i> ” ajudou-me a conhecer história da tecnologia CRISPR-CAS 9				

a. Na tua opinião, quais são as vantagens e desvantagens da visualização deste tipo de vídeos na compreensão destes conceitos? _____

B. Entrevista e discussão

	Concordo totalmente	Concordo	Discordo	Discordo totalmente
A aula de entrevista ao Cientista ajudou-me a compreender o funcionamento da técnica CRISPR-CAS 9				
A aula de entrevista ao Cientista ajudou-me a compreender melhor o trabalho de um cientista				
A aula de entrevista ao Cientista ajudou-me a compreender as dificuldades e limitações da aplicação desta técnica.				
A aula de entrevista ao Cientista ajudou-me compreender a influência dos cientistas, como pessoas, na Ciência.				
A aula de discussão ajudou-me a compreender melhor as implicações éticas das técnicas de edição de genes				
A aula de discussão ajudou-me a tomar uma posição quanto a utilização destas técnicas.				

A aula de discussão ajudou-me a tomar uma posição quanto a utilização destas técnicas em seres humanos				
A aula de discussão ajudou-me a saber debater temas sensíveis sem me exaltar e respeitando os meus colegas.				

- a. Na tua opinião, quais são as vantagens e desvantagens de uma discussão com os teus colegas sobre o tema abordado para a compreensão destes conceitos, em especial a compreensão das relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade?

- b. Na tua opinião, quais são as vantagens e desvantagens da entrevista a um cientista para a compreensão destes conceitos, em especial a compreensão das relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade? _____

- c. Que dificuldades sentiste durante a discussão e a entrevista?

- d. O que podia ser melhorado?

C. Trabalho de Grupo

	Concordo totalmente	Concordo	Discordo	Discordo totalmente
O trabalho de grupo ajudou-me a adquirir competências que me permitem realizar pesquisas de artigos científicos de forma autónoma				
O trabalho de grupo ajudou-me a adquirir competências que me permitem avaliar a qualidade de artigos científicos				
O trabalho de grupo ajudou-me a adquirir competências que me permitem diferenciar artigos investigativos de artigos de revisão				
O trabalho de grupo ajudou-me a compreender as potencialidades e limitações dos pósteres científicos				
O trabalho de grupo ajudou-me a adquirir competências que me permitem resumir e apresentar apenas o mais relevante acerca de um artigo científico				
O trabalho de grupo ajudou-me a compreender o funcionamento de diferentes técnicas de edição genética				
O trabalho de grupo ajudou-me a compreender o funcionamento de diferentes técnicas de edição genética				

b. Na tua opinião, quais são as vantagens e desvantagens deste trabalho de grupo para a compreensão das diferente técnicas de engenharia genética? _____

c. Que dificuldades sentiste durante o trabalho de grupo? _____

d. O que podia ser melhorado?

Obrigado pela tua colaboração!!!

8.3 – Guião Grupo Focal

Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação Universidade de Lisboa

Disciplina: Iniciação à Prática Profissional IV

Aluno: Filipe Casinhas Ribeiro

Temática: Abordagem CTS no ensino da engenharia genética numa turma do 12º ano

Guião de Entrevista ao grupo focal

Blocos	Objectivos	Temas	Observações
Legitimação da entrevista Motivação do Entrevistado	Legitimar Entrevista Motivar o entrevistado	Recordar o Tema da entrevista Reafirmar confidencialidade	
Recolha de dados Pessoais	Conhecer dados pessoais do entrevistado	Recolher separadamente os nomes de cada um individualmente para facilitar o reconhecimento da voz na gravação.	
Ciência	Detectar as concepções dos entrevistados sobre a Natureza da ciência.	O que é para vocês a Ciência? Qual a sua importância na sociedade? Na construção das civilizações? Na Sociedade actual? Qual o valor de verdade da ciência? Quais as vantagens da ciência e dos seus métodos em relação às outras formas de conhecimentos? Terá a ciência limites?	
Cientista	Conhecer a opinião dos entrevistados acerca do papel do cientista na ciência, na tecnologia e na sociedade	Qual o papel do cientista na construção do conhecimento científico? Qual a sua influência no mesmo? Que desafios pensas que os cientistas enfrentam quando o seu trabalho incide sobre questões	

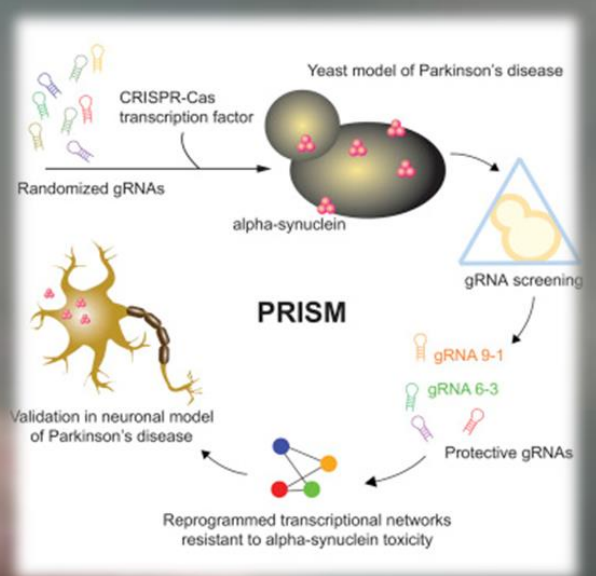
		<p>sensíveis como alguns campos da engenharia genética?</p> <p>Qual a responsabilidade do cientista sobre os descobrimentos que faz?</p> <p>O quão influenciado pode um cientista ser pelo poder político económico e/ou ideológico/religioso?</p> <p>O facto de um cientista receber essa influência tem impacto na sua função como cientista?</p>	
Tecnologia	Conhecer a opinião e concepções dos entrevistados acerca do papel da tecnologia na sociedade e no Mundo	<p>Qual o papel da tecnologia na sociedade?</p> <p>Qual a influencia que a tecnologia pode ter nas decisões políticas?</p>	
Engenharia genética	Conhecer a opinião e concepções dos entrevistados acerca da engenharia genética	<p>Qual é a vossa opinião acerca da engenharia genética? Que contributos pode oferecer à sociedade?</p> <p>Acham que a sociedade se encontra bem informada para puder tomar decisões sobre o uso de certas tecnologias?</p>	

8.4 - Rúbrica de avaliação do poster

Critério	Designação	Pontuação (1 a 5)	Pontuação (1 a 5)
Apresentação do Póster (40%)			
Equilíbrio "texto" vs "gráfico"	A relação entre o texto e os elementos gráficos é equilibrada (50:50). O texto é sintético e pouco denso à leitura		
Ocupação do espaço e alinhamento dos elementos	O espaço está bem ocupado e os elementos dispostos numa sequência lógica, com gráficos, mapas, tabelas e fotos de acordo com o texto.		
Design	Os elementos gráficos enquadram-se no fundo do poster. As cores utilizadas facilitam a leitura e estão bem conjugadas.		
Correcção	Não apresenta erros de ortografia / gramaticais, nem erros científicos.		
Facilidade de leitura do texto	O texto é facilmente lido a uma distância de 1,5m. Utiliza uma fonte legível e não é manuscrito		
Originalidade / Criatividade	Utiliza técnicas originais e criativas para representar a informação.		
Qualidade visual	É apelativo. Chama a atenção e convida à sua leitura / observação.		
Apresentação Oral	Postura correcta, parece descontraído e confiante. Estabelece contacto visual com todos os da sala durante a apresentação. Faz pouco uso dos apontamentos e recorre ao poster como apoio		
Conteúdo do poster (60%)			
Conteúdo científico	O conteúdo é adequado aos objectivos do trabalho.		
Eficácia do poster	O poster transmite eficazmente a mensagem para o qual foi criado. Lendo-o, tem-se a compreensão geral do artigo de que se trata. Não tem detalhes desnecessários. Não falta informação relevante.		
Autoria do conteúdo textual	O texto é do autor do poster e não uma cópia ou tradução a partir de outras fontes.		
Mapas, gráficos e imagens	A informação é legível. Têm título e legenda.		
Conclusões	Apresenta conclusões não demasiado complexas.		

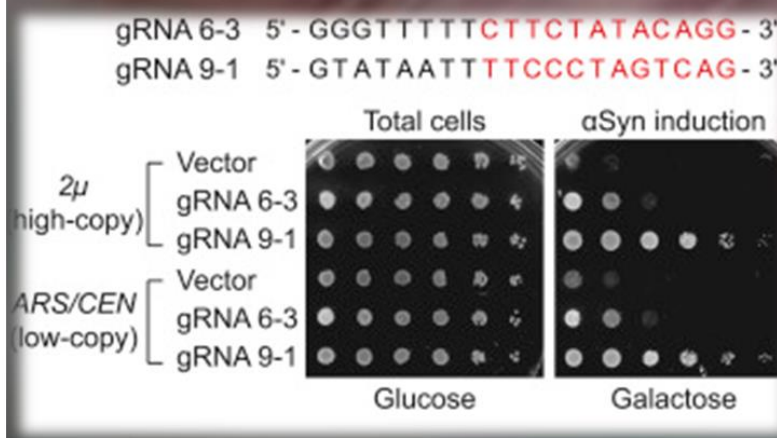
Fontes e citações Os elementos gráficos têm as fontes de onde foram retirados. As citações estão atribuídas

FABRICAR GENES CONTRA A DOENÇA DE PARKINSON?



A tecnologia do CRISPR-Cas permitiu o desenvolvimento do PRISM. Ao aplicar esta tecnologia a uma levedura com a Doença Parkinson (DP), foi possível identificar RNAs guia (gRNAs) que protegem as células da actuação da alfa-sinucleína (α Syn), responsável pela DP.

Foram estudadas *S. cerevisiae* que expressavam α Syn. Foi introduzido no genoma de algumas leveduras gRNA 6-3 e noutras gRNA 9-1. Através de uma proteína fluorescente amarela (YFP), induzida por galactose (Gal), foi possível identificar as células com α Syn.



Verificou-se que a toxicidade de α Syn diminuiu drasticamente nas células com gRNA 9-1. Deste modo o gRNA 9-1 foi escolhido para a continuação dos estudos.

9. Anexos

Quando a vitamina A ganha a medalha de ouro.

INTRODUÇÃO

"Golden Rice" é uma variedade de arroz transgênico, modificado de modo a apresentar uma alta concentração de β-caroteno (pro-vitamina A), criado para combater a deficiência de vitamina A em ambientes economicamente periféricos de países asiáticos, onde o arroz é um alimento predominante.

A primeira versão deste arroz foi descartada por apresentar uma concentração insuficiente de β-carotenos, associado principalmente à utilização do **gene psy do narciso**.

OBJECTIVOS

Alterar o "Golden Rice" original através da manipulação genética, nomeadamente pela substituição do gene *psy do narciso* por um mais eficiente na produção e retenção de maiores quantidades de caroteno.

Criar uma variedade de arroz economicamente viável, capaz de criar uma cultura sustentável, levando à erradicação da deficiência de vitamina-A nos ambientes rurais asiáticos.

CAUSA-EFEITO

Sintetase de β-carotenos:

- A enzima sintetase de Fitoeno (*psy*) age em duas moléculas de GGDP, originando Fitoeno.
- A partir deste ponto, o Fitoeno é dessaturado pela ação da Dessaturase multifuncional de carotenos (*crtI*), de modo a criar licopeno, o qual, apesar de se tratar de um caroteno não possui a capacidade de ser traduzido para Vitamina A nos corpos animais.
- Licopeno é transformado em β-caroteno através da ação de β-ciclase de licopeno.



MANIPULAÇÃO

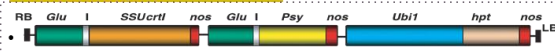


Diagrama esquemático do T-DNA utilizado para a criação do "Golden Rice" original

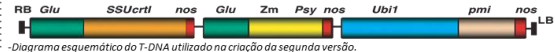


Diagrama esquemático do T-DNA utilizado na criação da segunda versão.

- O primeiro intrão do gene da catalase do Rícino (*I*) é removido uma vez que a sua presença provou não ter efeito na acumulação de carotenos.
- O grupo *Psy* presente na primeira versão do arroz é retirado, sendo substituído pelo grupo *psy* do arroz *Oryza Sativa* (AJ715786), um arroz geneticamente modificado para esta experiência; pelo *psy* do Milho (**Zm Psy**), da Pimenta, do Tomate e do Narciso (grupo de controlo)
- O grupo de resistência a higromicina (*hpt*) [antibiótico produzido pela bactéria *Streptomyces hygroscopicus*] é substituído pela isomerase de fosfomanose (*pmi*) [enzima que facilita a conversão de frutose em manose]
- O grupo promotor da gluteína do arroz (*Glu*) [promotor que se exprime no endosperma e parênquima vascular] manteve-se, tal como o grupo promotor de poliubiquitina do milho (*Ubi1*) [promotor que se exprime no no embrião e endosperma quando exposto a certos tratamentos]
- O grupo do péptido de trânsito de cloroplasto (*SScrtI*) manteve-se.

METODOLOGIA

Sobreexpressão de genes *psy* no parênquima

As sequências codificantes dos genes *psy* da pimenta, do narciso, de *A. thaliana* e tomate foram obtidas através de uma reação em cadeia de polimerase [PCR], e digestão restrita de ADN plasmídeo. As cadeias da cenoura e milho foram replicadas através da reação em cadeia de polimerase em tempo real [RT-PCR].

Utilizando primários, foram adicionadas sequências *NcoI* ou *KpnI* na extremidade 5', e uma sequência *SfiI* na extremidade 3'. Cada *psy* foi de seguida transferido para um vetor de clonagem plasmídeo (pUC), contendo o promotor de Poliubiquitina do milho (**Ubi-1**) e o codão final da sintetase de nopalina (**nos**). Clonagem para os locais *NcoI* ou *KpnI*, *SfiI* por parte do vetor colocou a sequência a 6 nucleótidos do promotor Ubi-1 e do codão *nos*.

O plasmídeo de expressão *SSUcrtI* é uma fusão funcional da pequena subunidade do péptido de transito plastidial RUBISCO da ervilha e da sequência *crtI* de *Erwinia uredovora*. Foi obtido através da substituição do promotor CaMV 35S de pUCET4 pelo promotor Ubi-1 nos locais *HindIII/XbaI*.

Foi estabelecido um vetor pUC separado, contendo o gene marcador *pat* e o gene repórter *gus*, cada um sob o controlo do promotor Ubi-1 e do codão *nos*.

A cassette genética *Glu::SSUcrtI::nos* foi transferida para um vector binário *Bin19*, contendo o gene marcador da isomerase de fosfomanose de *E.coli* (*pmi*) sob o controlo do marcador *Ubi-1* e do codão *nos*.

Procedimentos de transformação do arroz seguiram protocolos anteriores. Caules embriogénicos de 3-4mm foram adicionados a *Agrobacterium tumefaciens*, colocados na preparação R2COMAS e incubados no escuro a uma temperatura de 26°C. Após seleção, os caules embriogénicos sobreviventes foram transferidos para um meio de regeneração.

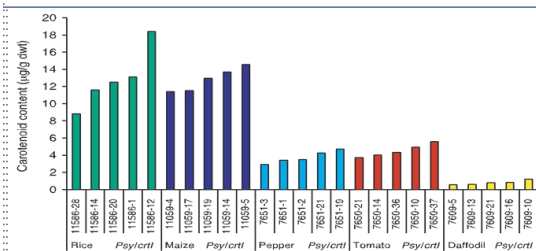
O arroz foi cultivado em estufa, utilizando luz suplementar a uma humidade >50%. O período de luz foi de 16h diárias, com uma temperatura média de 25°C. A floração foi induzida por um tratamento de dia curto, com 10h de luz diárias, 8 semanas após ter sido plantado.

RESULTADOS



Carotenos são pigmentos vegetais, possuindo uma cor natural alaranjada, podendo-se por essa razão verificar a sua presença pelo aparecimento de uma cor dourada no grão de arroz.

- Analisando a cor dos grãos de arroz, é possível verificar a eficácia do gene *psy* e *crtI* do Milho (*Zm Psy/crtI*) comparativamente ao "Golden Rice" original (*Np Psy/crtI*) e ao arroz selvagem (*Wild Type*)



- Os genes *psy* do milho (Maize) e arroz da variedade *Oryza Sativa* (Rice) apresentam uma alta eficácia na produção de carotenos, apresentando os valores mais elevados entre o grupo experimental. (**8-18 µg/g**), comparativamente aos valores anteriormente obtidos pela utilização dos genes *psy* do Narciso (Daffodil) (**0-2 µg/g**)
- Apesar do arroz implementado com o gene *psy* do milho apresentar valores totais de carotenos ligeiramente inferiores ao do arroz, concluiu-se que este possuía as características ideais, devido à alta percentagem de β-carotenos (86-90%), comparativamente ao *psy* do arroz (78-84%).
- Genes *psy* do milho apresentam também uma alta "sequestração", impedindo que enzimas acedam aos β-carotenos, degradando-os. Isto traduz-se numa alta percentagem de β-carotenos comparativamente a Xantófilos.

CONCLUSÃO

Apurando os resultados da experiência, comprova-se a hipótese original: o gene *psy* do milho é mais eficiente na produção de β-carotenos do que o do narciso. Quando inserido na endosperma do arroz, o *psy* do narciso descobre-se limitante uma vez que retém apenas 1,06 µg/g de arroz, ao invés do gene do milho, o qual fixa 31 µg/g de arroz.

BANANA TRANSGÊNICA PARA COMBATE À HEPATITE B



Fig. 1 – Banana.

ENQUADRAMENTO:



Fig. 2 - Vírus da Hepatite B numa veia sanguínea.

A Hepatite B é uma doença potencialmente fatal que afeta milhões de indivíduos por ano, no entanto a distribuição global da sua vacina é extremamente dispendiosa. Procurando uma resposta a este problema, um grupo de cientistas procurou expressar o antígeno da Hepatite B numa banana.

INTRODUÇÃO:

O antígeno escolhido para ser expresso na banana foi o HBsAg, que se encontra envolvido no vírus da Hepatite B.

Os cientistas optaram pela banana pois há uma produção desta em grande escala, é acessível e comem-se cruas, evitando a desnaturação do antígeno devido à temperatura

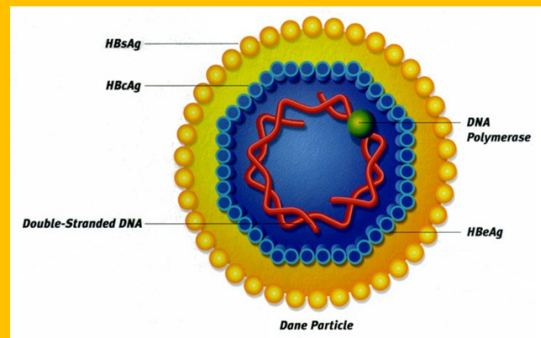


Fig. 3 - Legenda do esquema vírus da Hepatite B.

MATERIAIS E MÉTODOS:

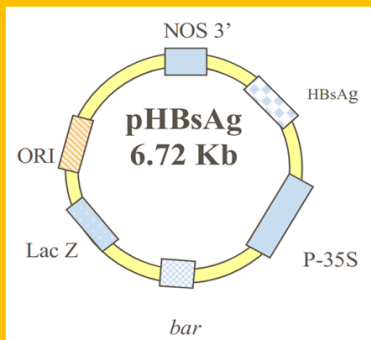


Fig. 4 - A cassete de expressão com o gene que codifica o HBsAg e o *bar* gene como um marcador genético.

Depois de identificado o antígeno, o gene quimérico HBsAg foi clonado no vetor de expressão da planta. Também o *bar* gene foi clonado de modo a funcionar como um marcador genético. Para a modificação genética da banana foi utilizado um processo de biolítica. Através da *gene gun*, o DNA do plasmídeo pHBsAg foi bombardeado no meristema apical da banana.



Fig. 5 - Gene gun.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:



Fig. 6 - Detecção PCR da presença de HBsAg nas plantas transgênicas de banana

Através de técnicas utilizadas para amplificar cópias de segmentos de DNA em maiores ordens de grandeza, foi possível verificar a presença do gene codificador do HBsAg.

Como podemos observar na figura 6, as amostras 4, 7, 8 e C apresentaram traços de ocorrência de transgenidade.

Referências: Shereen F. Elkholy, Roba M. Ismail, Ahmed Bahieldin, Atef S. Sadik and Magdy A. Madkour (2009) Expression of Hepatitis B surface Antigen (HBsAg) gene in transgenic banana (Musa Sp.)

ROLE OF CRISPR/CAS-MEDIATED GENOME ENGINEERING IN MICE CARRYING MUTATIONS

BACKGROUND

The CRISPR/CAS system is a tool to locate mutations and remove them in bacteria (*Streptococcus pyogenes*). In this study this complex was used to perform multiple gene mutation in both stem cells (ES) and mice.



Fig. 1: Mutant mice^[1]

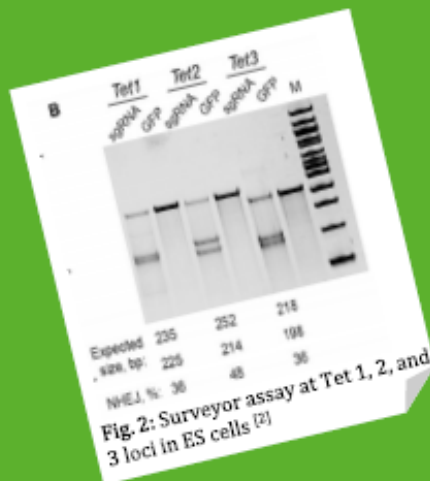


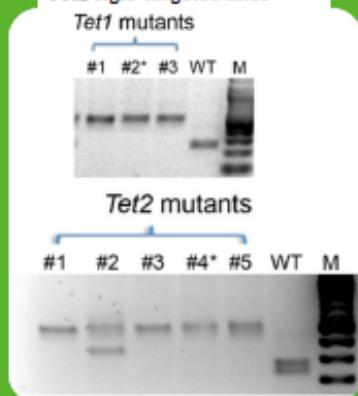
Fig. 2: Surveyor assay at Tet 1, 2, and 3 loci in ES cells^[2]

PROCEDURE

Pronuclei staged mice zygotes were chosen to be injected with CAS9 and RNA's. The zygotes were put in a culture for 3.5 days until the blastocysts stage and then transferred into the uterus. The ES cells were transfected with plasmids expressing CAS9 and sgRNA (single targeting or triple targeting- Tet1, 2, and 3) or 5 PCR products targeting 5 different genes. 4/6 days later, the colonies were genotyped.

The Surveyor Assay, a cleavage assay used to detect mismatches or small indentions or deletions, was performed in both ES and mice cells.

Fig. 3: Genotyping of Tet1 and Tet2 single-targeted mice^[3]



Gene	Mutant Alleles per Clone / Total Clones Tested						
	6	5	4	3	2	1	0
Tet1	N/A				27/48	4/48	17/48
Tet2					37/48	2/48	9/48
Tet3					32/48	3/48	13/48
Tet1 + Tet2 + Tet3	20/96	16/96	2/96	2/96	1/96	0/96	55/96

Table 1: CRISPR/Cas-Mediated single-gene targeting ES cells^[4]

Gene	Cas9/RNA (ng/μl)	Blastocysts/Injected Zygotes	Transfected Embryos (Recipients)	Survivors (Dead)	Mutant Alleles per Mouse/Total Mice Tested ²		
					2	1	0
Tet1	200/20	30/50	19 (1)	2 (8)	2/2	0/2	0/2
	100/20	50/80	25 (1)	3 (8)	2/3	0/3	1/3
	50/20	40/50	40 (2)	8 (8)	4/7	2/7	1/7
	100/50	160/184	40 (2)	12 (2)	9/11	1/11	1/11
Tet2	100/50	175/253	58 (2)	22 (8)	19/20	0/20	1/20
	100/50	85/112	64 (2)	15 (12)	9/13	2/13	2/13

Table 2: CRISPR/Cas-Mediated single-gene targeting in mice^[5]

CONCLUSIONS

The CRISPR/CAS-mediated gene editing enables the simultaneous disruption in mouse embryonic stem (ES) cells. This system allows the one-step generation of mice carrying mutations in multiple genes, an approach to the understanding of functionally redundant genes, in *in vivo* study.

[1][2][3][4][5] Haoyi Wang, Hui Yang, Chikdu S. Shivalila, Meelad M. Dawlaty, Albert W. Cheng, Feng Zhang, and Rudolf Jaenisch; (2013) One-Step Generation of Mice Carrying Mutations in Multiple Genes by CRISPR/Cas Mediated Genome Engineering

A dupla sobre-expressão dos fatores de transcrição DREB E PIF melhora a tolerância ao stress hídrico e alongamento em plantas transgênicas

- **Objetivo:**

Permitir que as plantas transgênicas tolerantes à seca, e que por isso sofrem nanismo, consigam superar este retardamento.

- O DREB1A é um gene que promove a tolerância ao stress hídrico mas retarda o crescimento das plantas.

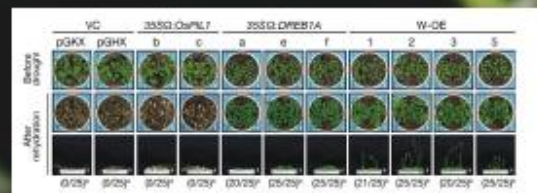


Figura 1- Resultados à tolerância do stress hídrico variante os fatores de transcrição

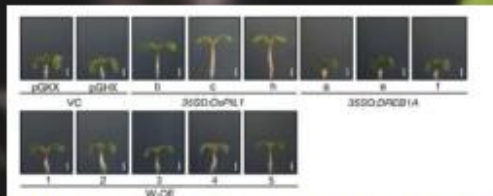


Figura 2- Morfologia da planta transgênica (*Arabidopsis*) variantes os fatores de transcrição

- OsPIL1 é uma proteína que promove o crescimento das plantas e acelera a floração, aumentando o alongamento celular através da ativação da parede celular.

- Análises de transativação revelaram que DREB1A e OsPIL1 não afetam negativamente as atividades de transcrição um do outro.
- Existem muitas proteínas pertencentes à família das proteínas PIF. A proteína OsPIL1 é a que promove um crescimento mais eficaz das plantas, sobre diferentes condições.

- **Método:**

Foram inicialmente usados vetores binário, pGKX e pGHX, que permitiram a alteração genética dos plasmídeos, para plasmídeos OsPIL1 e DREB1A. Através do método "floral dip" a *Agrobacterium tumefaciens* é utilizada para inserir estes plasmídeos nas células das plantas.

- **Conclusão:**

Este estudo permitiu o surgimento de plantas transgênicas capazes de sobreviverem em condições de stress hídrico e, ao mesmo tempo, se desenvolverem.

Referências: Plant Biotechnology Journal (2017); Madoka Kudo¹, Satoshi Kidokoro¹, Takuya Yoshida^{1,2}, Junya Mizoi¹, Daisuke Todaka¹, Alisdair R. Fernie², Kazuo Shinozaki³ and Kazuko Yamaguchi-Shinozaki¹, * ¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, Tokyo, Japan ² Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie, Golm, Germany ³ RIKEN Center for Sustainable Resource Science, Tsurumi-ku, Yokohama, Japan

CRISPR/Cas9 - Alteração do gene B-globina em células estaminais hematopoiéticas

Daniel P. Dever, Rasmus O. Bak, Andreas Reinisch, Joab Camarena, Gabriel Washington, Carmencita E. Nicolas, Mara Pavel-Dinu, Nivi Saxena, Alec B. Wilkens, Sruthi Mantri, Nobuko Uchida, Ayal Hendel, Anupama Narla, Ravindra Majeti, Kenneth I. Weinberg, Matthew H. Porteus

Introdução

A anemia falciforme é uma doença que se caracteriza pela malformação das hemácias, causadas devido a uma mutação no gene HBB (B-globina).



Fig 1: HEMÁCIA FALCIFORME HEMÁCIA NORMAL

Metodologia

- São retiradas células estaminais dos pacientes (ex vivo)
- O Cas9 é utilizado para modificar os genes que provocam a doença por terem sofrido mutações (gene HBB), através da quebra do DNA e inserção de DNA de um dador homólogo sem mutação
- Através do transplante autólogo, são eliminadas as células que se tornaram cancerígenas, após o uso da Cas9
- Os pacientes recebem novamente estas células modificadas sem a presença da mutação Glu6Val no gene HBB, responsável pela doença falciforme.

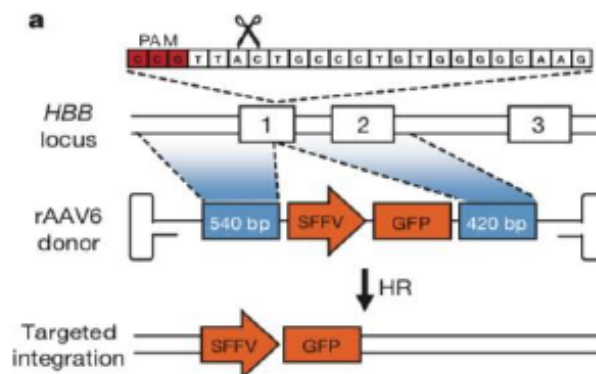


Fig 2: Atuação do CRISPR/Cas9 na alteração do gene HBB

Objetivos

Este estudo teve como objetivo averiguar se a utilização do CRISPR/ Cas9 (uma técnica que recorre à proteína Cas9 para alterar determinados genes, cortando e adicionando determinados alelos) poderia contribuir para melhorar a eficácia dos tratamentos para quem sofre desta doença.

Resultados

As células diferenciadas exprimem a proteína Hba, que indica uma correta transcrição de genes. A partir do gráfico b, percebe-se que a utilização de RNP (utilização de CRISPR/ Cas9) deu origem a uma maior percentagem de células modificadas, sendo mais eficiente.

Conclusão

A metodologia apresentada estabelece as bases para as terapias de edição do genoma mediadas pelo CRISPR/ Cas9 de uma forma mais eficiente que as terapias previamente existentes, não apenas para as B-hemoglobinopatias, mas também para uma variedade de outras doenças hematopoiéticas.

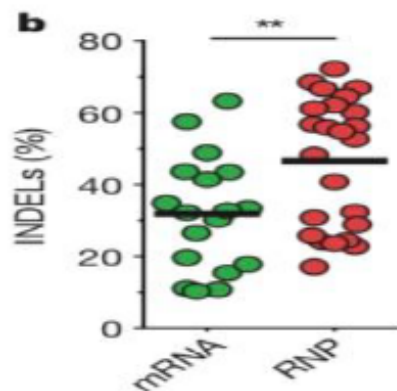


Gráfico 1: Número de células modificadas em função do uso de mRNA ou RNP

Engineering T Cells with customized therapeutic response programs, using *SynNotch* receptors

The main objective of this experiment is to customize Synthetic T cells to deliver cytokines, antibodies and small molecules in response to antigens in a very precise and localized way. Customize them to drive therapeutic responses for cancer and other diseases and to be able to sense tumor antigens and use them to deliver diverse therapeutic payloads.

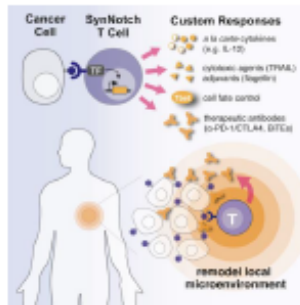


Figure 1 - Simplified scheme of the objectives and procedures of the experiment

Methods

SynNotch receptors were built by fusing various proteins, some with affinity to the receptor some without that affinity, some had membrane targeting, etc..

The cell CD19+ and cell CD19- were used to send the protein CD19 to a receiver T cell, CD4+ or CD8+, in order to understand which one of the two types of cells were the best to send the protein (Figure 2C).

The next step focused on understanding which type of combination between T cells and receptors were the best to activate the cells (Figure 2D).

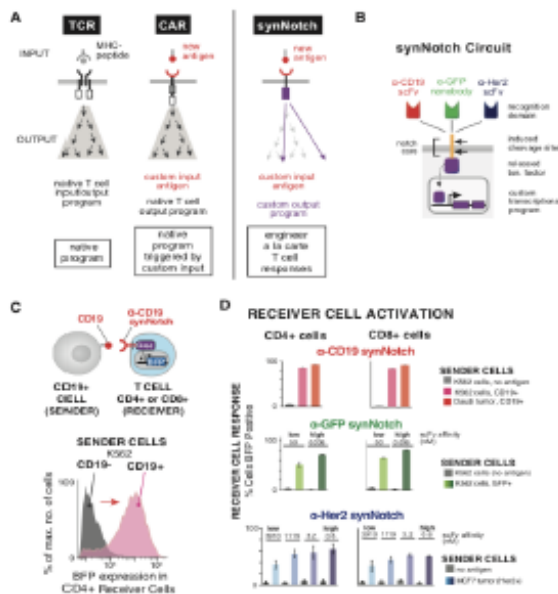


Figure 2 - Engineering Antigen Triggered T Cell Responses with Diverse *SynNotch* Receptors

Also, they changed the type of T cell differentiation, producing different cells with distinctions on how they were cultured (Figure 3A and B).

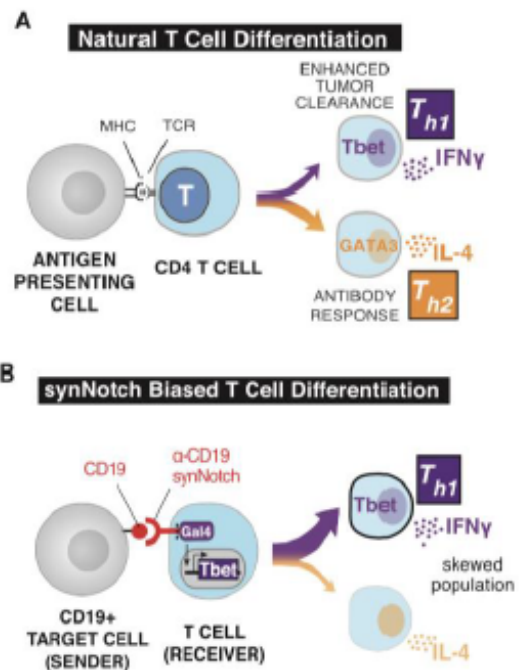


Figure 3. *SynNotch* Receptors Can Drive Antigen-Dependent Skewing of T Cell Differentiation to the Anti-tumor Th1 Fate

Results

To build a *SynNotch* receptor platform that allows for fully customizable receptor, they utilized the Notch core regulatory region that controls ligand-dependent cleavage and activation as a minimal scaffold, but then append a customized input recognition (extracellular) and output transcriptional (intracellular) module. (Figure 2A)

SynNotch receptors contain the core regulatory domain, the synthetic extracellular recognition domains and the synthetic intracellular transcriptional domains.

SynNotch receptors have a custom ligand binding domain that detects a cell-surface antigen of interest (e.g., scFvs targeted to CD19 or Her2 or nanobodies to GFP), the core regulatory region of Notch that controls proteolysis, and a cytoplasmic orthogonal transcription factor (e.g., Gal4 VP64). (Figure 2B)

The corresponding response elements for the orthogonal transcription factor controlling custom transcriptional programs are also engineered into the T cell.