

# O "MENU QUÍMICO" DAS PLANTAS: UMA ABORDAGEM AO ENSINO DA QUÍMICA NO ENSINO SECUNDÁRIO

Carolina M.A. Rio e M. Conceição Mateus\*

Departamento de Química e Farmácia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro  
mcmateus@ualg.pt

**Plant's "Chemical Menu": An Approach to Chemistry Teaching in Secondary School – The role of interdisciplinarity in the consolidation of fundamental and essential concepts to the improvement of chemistry learning can be implemented through small projects that involve repetitive laboratory procedures, leading to the development of long-term memory, as well as creative and interconnection concepts. The project presented here is a work proposal that may be implemented in secondary schools, in parallel to the class activities. Having the biological systems as the object of study, it is proposed to follow a set of chemical parameters needed for the development of selected vegetable species, in order to improve the learning of several chemical concepts incorporated in the curricula of the 10<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> years of secondary school.**

O papel da interdisciplinaridade na sedimentação de conceitos básicos e estruturantes para o desenvolvimento da aprendizagem em química pode ser implementado através de pequenos projetos que implicam a realização de procedimentos laboratoriais repetitivos conducentes ao desenvolvimento da memória de longo prazo, bem como criativos e de interligação de conceitos. O projeto aqui apresentado é uma proposta de trabalho para implementação nas escolas de ensino secundário, em atividades paralelas à sala de aula. Tendo como objeto de estudo os sistemas biológicos, é proposta a monitorização de diversos parâmetros químicos, necessários ao desenvolvimento de espécies hortícolas selecionadas, com o objetivo de dinamizar a aprendizagem de um conjunto significativo de conceitos químicos incorporados nos programas curriculares dos 10.º, 11.º e 12.º anos do ensino secundário.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da área disciplinar das Ciências Físico-Químicas, e da Química em particular, tem sido alvo de evidente falta de adesão dos alunos no ensino secundário, frequentemente em resultado da dificuldade em compreender e aplicar os conteúdos programáticos curriculares a novas situações. Tem vindo a crescer o número de alunos que chegam ao 1.º ano do ensino superior, em áreas relacionadas com as Ciências Biológicas, que optaram por não frequentar a disciplina de Química no 12.º ano. Este facto tem repercussões na aprendizagem das disciplinas estruturantes dos cursos onde se integram, dando origem aos baixos aproveitamentos escolares em disciplinas básicas como Química Geral, Química Orgânica e até mesmo Bioquímica. Esta situação não é exclusiva do contexto português, tendo sido largamente documentada na literatura da especialidade onde se defende a importância da interdisciplinaridade na sedimentação de conceitos básicos e estruturantes para o desenvolvimento da aprendizagem em química [1–8]. Esta interdisciplinaridade pode ser implementada através de pequenos projetos que implicam a realização de procedimentos laboratoriais repetitivos conducentes ao desenvolvimento da memória de longo prazo, bem como criativos e de interligação de conceitos [1,2]. Esta perspetiva tem sido defendida e expandida por diversos autores para o ensino da Química no primeiro ano do ensino superior, designadamente nas disciplinas de Química Geral integradas em cursos da área das Ciências Biológicas [3–8].

No projeto aqui apresentado propõe-se a implementação de algumas experiências laboratoriais, a serem realizadas em regime extracurricular, que tendo como objeto de estudo sistemas biológicos, permitem a aprendizagem de um

conjunto significativo de conceitos químicos incorporados nos programas curriculares dos 10.º, 11.º e 12.º anos do ensino secundário [9,10]. Alguns desses conceitos têm-se revelado de difícil apreensão por parte dos alunos, nomeadamente as relações mássicas, o conceito de mole e a conversão de unidades de concentração.

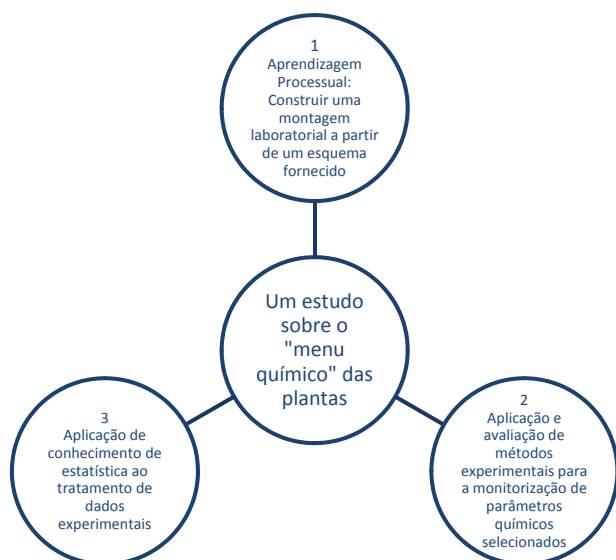
A implementação do projeto implica a seleção de espécies hortícolas, cujo crescimento se pretende estudar em função da concentração de nutrientes disponíveis no meio de cultivo, tendo como base a monitorização de um conjunto de parâmetros químicos.

No estudo aqui apresentado foram selecionadas as espécies *Raphanus sativus* (rabanete) e *Beta vulgaris* (beteraba). Os parâmetros químicos de monitorização do meio de cultivo selecionados foram os seguintes: análise de pH; análise de iões cálcio e magnésio, análise de catiões totais; análise de iões nitrato e análise de fósforo total.

A implementação do projeto de estudo sobre o “menu químico” das plantas, e o seu enquadramento nas metas curriculares dos programas da componente de Química dos 10.º e 11.º anos do ensino secundário, permite estabelecer três conjuntos de objetivos fundamentais, do ponto de vista químico, apresentados nos diagramas das Figuras 1–4.

Estabelecidos os objetivos globais para cada atividade experimental, serão identificadas e analisadas as ligações específicas dos conteúdos programáticos e metas curriculares definidos nos programas de Física e Química com as competências teórica e experimental a desenvolver no projeto.

Como objetivo final do projeto será também apresentada uma avaliação comportamental das plantas em resposta às



**Figura 1** – Diagrama relativo às três metas transversais de aprendizagem identificadas no âmbito de aplicação do projeto.

condições impostas, com base nos resultados experimentais obtidos. No entanto, o alcance dessa análise dependerá da relação interdisciplinar com outras áreas do conhecimento, designadamente a Biologia.

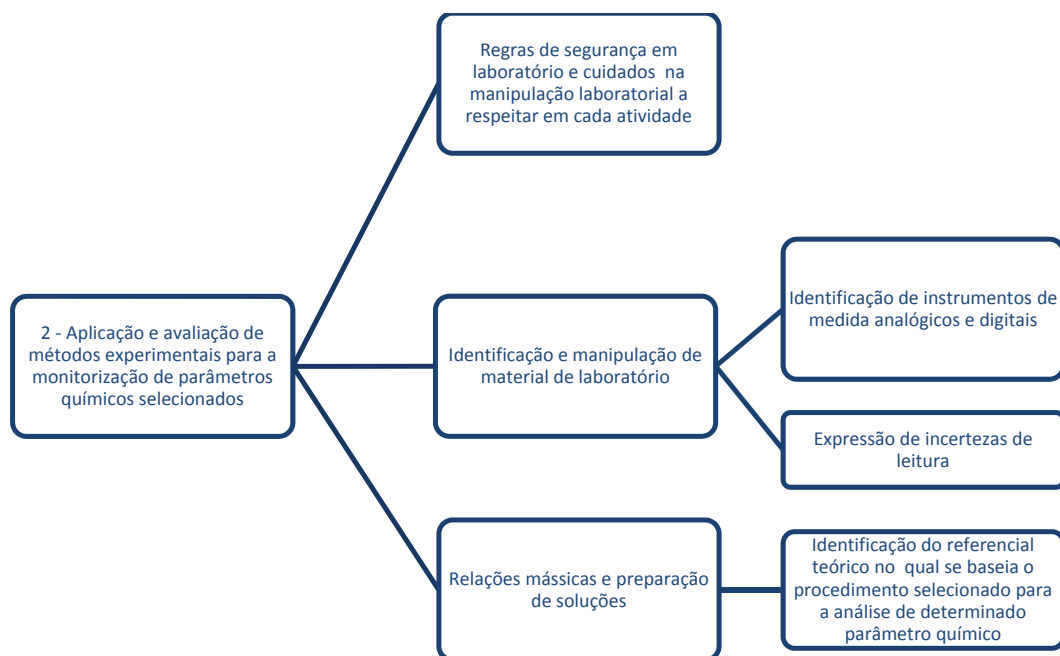
## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. PREPARAÇÃO E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE PLANTAS SELECIONADAS

Utilizando fertilizantes comerciais [11] foi preparada uma solução nutritiva stock (5 L), com  $2,5 \text{ g dm}^{-3}$  de di-hidrogenofosfato de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ),  $0,050 \text{ g dm}^{-3}$  de nitrato de amónio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ),  $9,0 \text{ g dm}^{-3}$  de nitrato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ),  $2,5 \text{ g dm}^{-3}$  de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ),  $4,0 \text{ g dm}^{-3}$  de sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) e  $0,30 \text{ g dm}^{-3}$  de uma mistura comercial de microelementos [12]. A partir desta solução (designada por solução 10) foram preparados 2 L de duas soluções com concentrações 10 vezes menor (solução 1) e 100 vezes menor (solução 01).



**Figura 2** – Diagrama relativo à aprendizagem processual associada à montagem laboratorial proposta no âmbito de aplicação do projeto.



**Figura 3** – Diagrama relativo à aplicação e avaliação de metodologias experimentais para a monitorização de parâmetros químicos selecionados no âmbito de aplicação do projeto.

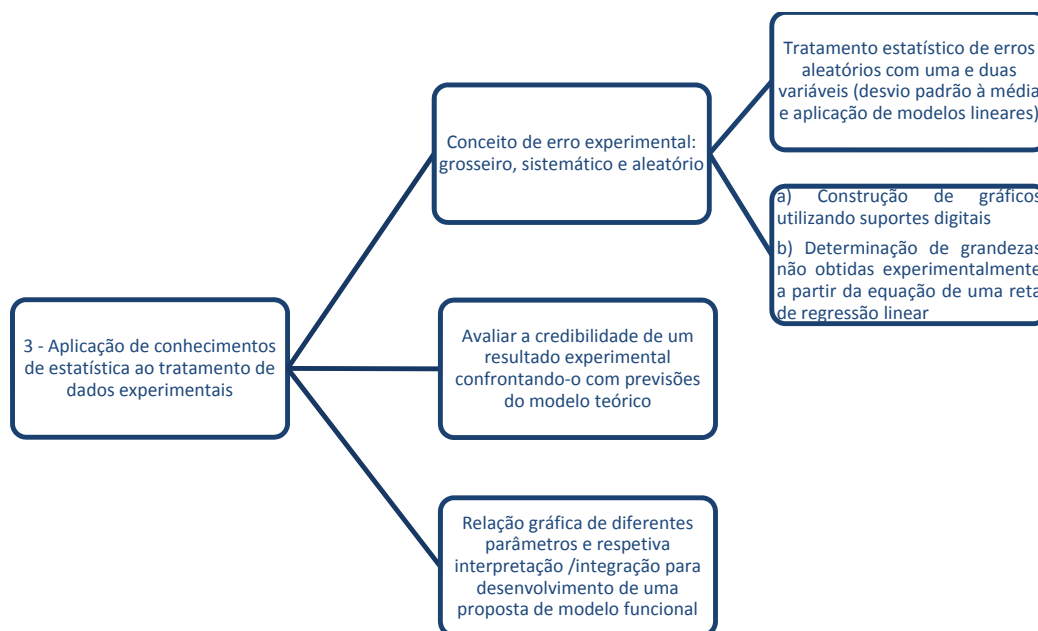


Figura 4 – Diagrama relativo à aplicação de conhecimentos de estatística ao tratamento de dados experimentais obtidos no projeto.

A solução de concentração intermédia (solução 1) apresenta teores de nutrientes dentro da gama de valores estabelecidos pelas tabelas de referência de Hoagland [13] e de Jensen [14], para soluções nutritivas de uso geral no cultivo hidropónico de plantas e passará a ser considerada como solução nutritiva recomendada.

Esta solução nutritiva foi distribuída por um número de tubos de ensaio (50 mL e 24 mm de diâmetro) superior aos 18 necessários à experiência, uma vez que algumas germinações poderiam não ocorrer. Seguidamente, em cada tubo, foi imersa na solução (a aproximadamente 1 cm da superfície da solução) uma semente de rabanete ou beterraba suspensa num suporte de tecido de rede fina (Figura 5). Todos os tubos de ensaio foram revestidos com folha de alumínio para proteger a solução da radiação solar e assim evitar o desenvolvimento de algas. O período de germinação e crescimento das plantas (até estas atingirem uma dimensão mínima de 10 cm) foi de cerca de 30 dias.

## 2.2. MONTAGEM LABORATORIAL

Para estudar o efeito da concentração de nutrientes no crescimento das plantas em função da espécie, cada uma das três soluções nutritivas foi distribuída por 7 provetas (120 mL por proveta). Por cada espécie de planta foi usada uma proveta como controlo e três como replicados. As plantas foram suportadas por um disco de esponja de forma a permitir que a raiz ficasse imersa na solução. As provetas foram colocadas em conjuntos de 3 ou 4 em pastas de arquivo morto, de modo a proteger a solução nutritiva da ação da luz solar, mas permitindo a exposição das folhas das plantas à luz, de acordo com o esquema de montagem apresentado na Figura 6. Em cada proveta foi introduzido um tubo de 2 mm de diâmetro externo para produzir o arejamento da solução nu-

tritiva por ação de uma bomba de ar para aquário. O caudal de arejamento foi controlado usando válvulas para regulação de fluxo. A montagem laboratorial foi construída em espaço interior junto a janela exposta à radiação solar.

## 2.3. MONITORIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE CONSUMO E CRESCIMENTO

O volume de solução nas provetas foi diariamente vigiado para garantir que a raiz da planta permanecia em contacto com a solução. Ao fim de 6 dias foi registado o volume de solução consumido em cada proveta e as plantas foram retiradas e medidas (raiz e folhas). As soluções foram recolhidas para monitorização dos parâmetros químicos selecionados, designadamente: pH, iões cálcio e magnésio, catiões totais, iões nitrato e fósforo total consumidos, de acordo com métodos analíticos descritos, ou adaptados, na literatura [15] (ver caixas com informação suplementar). As mesmas plantas foram imersas novamente em nova solução nutritiva e alvo de igual procedimento até nova recolha ao fim de um novo período de 6 dias.

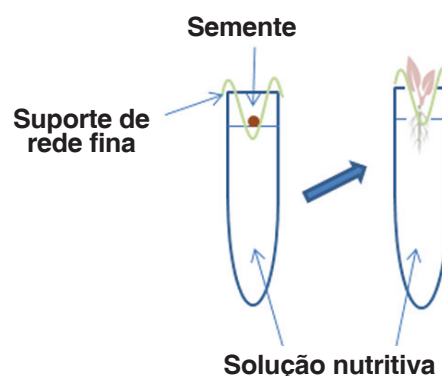


Figura 5 – Esquema para germinação de sementes das plantas.

**Determinação dos cátions totais****Material:**

- Resina Dowex 50wx8-200
- Solução de ácido clorídrico (HCl) 6 mol dm<sup>-3</sup>
- Água desionizada
- Fenolftaleína
- Solução hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 mol dm<sup>-3</sup>
- Fita indicadora de pH
- Copo de precipitação de 150 mL
- Coluna (ou bureta de 25 mL)
- Provetas de 25 mL e 50 mL
- Pipetas de 5 mL e 10 mL
- Balão erlenmeyer de 250 mL
- Pompete
- Placa de agitação magnética e magnete

**Procedimento:**

1. Medir, com a ajuda de uma proveta, 15 mL de resina Dowex 50wx8-200, transferir para um copo de 150 mL e adicionar 50 mL de solução HCl 6 mol dm<sup>-3</sup>. Colocar em agitação durante 5 minutos.
2. Decantar e lavar a resina com 100 mL de água desionizada, agitar e decantar, repetir o processo até a água de lavagem apresentar pH próximo de 4 (poderão ser necessárias 3 lavagens).
3. Transferir a resina para a coluna (poderá ser uma bureta de 25 mL onde previamente se colocou na parte inferior lâ de vidro). Depois de transferir a totalidade da resina para a coluna, lave a coluna com 30 mL de água desionizada, deixe sair a água até permanecer um pouco acima da superfície da resina. Agora o pH deverá ser 4 ou superior.
4. Pipetar 5 mL de amostra de solução 1 (ou 10 mL de amostra de solução 01) e transferir cuidadosamente para a coluna de forma a não perturbar a superfície da resina. Abrir a coluna e recolher a solução numa proveta de 50 mL. Pare a recolha logo que o líquido esteja perto de atingir a superfície da resina. Lave as paredes da coluna com 2 mL de água, continue a recolha até que o líquido esteja perto de atingir a superfície da resina. Adicione água à coluna e recolha até o pH apresentar valor próximo de 6, nessa altura a proveta de recolha da amostra deverá apresentar um volume de 25 mL. Transferir os 25 mL recolhidos para um balão erlenmeyer de 250 mL, lave as paredes da proveta duas vezes e transfira para o balão. Coloque 3 gotas de fenolftaleína.
5. Prepare e afira uma solução de NaOH (~0,01 mol dm<sup>-3</sup>).
6. Encha a bureta de 25 mL com solução de NaOH anteriormente aferida e proceda à titulação ácido-base da amostra em análise.
7. Com o volume gasto de NaOH determine a concentração de cargas positivas na amostra de solução nutritiva doseada.

**Determinação de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>****Material:**

- Sal dissódico do ácido etilenodiaminotetracético p.a. (Na<sub>2</sub>EDTA)
- Cloreto de magnésio hexa-hidratado (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O)
- Carbonato de cálcio p.a. (CaCO<sub>3</sub>)
- Solução de ácido clorídrico (HCl) 1:3
- Solução de amónia/cloreto de amónio (NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl)
- Solução etanólica de negro de Eriocromo T a 0,5 % (m/v).
- Água desionizada
- Bureta de 25 mL
- Balões erlenmeyer de 250 mL
- Provetas de 50 e 5 mL
- Balões volumétricos
- Vidro de relógio
- Frasco conta gotas

**Procedimento:**

1. Padronização de uma solução de Na<sub>2</sub>EDTA 0,01 mol dm<sup>-3</sup>
  - 1.1. Dissolva 4 g de sal dissódico de EDTA juntamente com 0,1 g de MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O em 1 L de água destilada, transfira para um frasco, rolhe e rotule.
  - 1.2. Pese rigorosamente cerca de 0,250 g de CaCO<sub>3</sub> (p.a.), previamente seco durante 2 horas a 110 °C e junte num copo com 50 mL de água desionizada.
  - 1.3. Adicione HCl 1:3 gota a gota até cessar a efervescência e a solução ficar límpida. Transferir para um balão de 250 mL, ajustar à marca e agitar.
  - 1.4. Pipetar 20 mL da solução anterior para um balão erlenmeyer e adicionar 5 mL de tampão de NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl (dissolver 7,5 g de NH<sub>4</sub>Cl em 57 mL de NH<sub>3</sub> concentrado e diluir até 100 cm<sup>3</sup>) e 3 gotas de negro de Eriocromo T (0,25 g de negro de Eriocromo T em 50 mL de etanol).
  - 1.5. Titular com a solução de EDTA dissódico até viragem total de vermelho vinoso a azul.
  - 1.6. Tome nota do volume consumido e repita o ensaio por mais duas vezes.
2. Determinação de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>
  - 2.1. Pipetar 10 mL de amostra de solução 1 (ou 25 mL de amostra de solução 01) cuja concentração de Ca<sup>2+</sup> e de Mg<sup>2+</sup> se pretende determinar. Junte 25 mL de água desionizada. Adicione 5 mL de tampão NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl e 2 gotas de solução de negro de Eriocromo T.
  - 2.2. Titule com solução de EDTA dissódico até viragem vermelho vinoso a azul. Tome nota do volume consumido e calcule a concentração de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>.

**Determinação do pH****Material:**

- Solução tampão de calibração pH = 4
- Solução tampão de calibração pH = 7
- Solução de cloreto de potássio (KCl) 3 mol dm<sup>-3</sup>
- Água desionizada
- Aparelho medidor de pH com eletrodo combinado de vidro
- Copo de precipitação de 50 mL

**Procedimento:**

1. Lavar bem o eletrodo de vidro com água desionizada e remover o excesso de água.
2. Seguir as instruções de calibração do equipamento medidor de pH ajustando aos valores de pH das soluções de calibração (exemplo: solução tampão pH = 4,00 ± 0,02 a 20 °C e solução tampão pH = 7,00 ± 0,02 a 20 °C).
3. Lavar muito bem o eletrodo combinado de vidro sempre que mudar de solução, tendo o cuidado de remover o excesso de água.
4. Agitar durante 5 minutos com velocidade constante. Fazer o registo da leitura após estabilização do valor do pH.
5. Terminado o registo de leituras, desligar o equipamento e lavar o eletrodo combinado de vidro armazenando-o imerso em solução de KCl 3 mol dm<sup>-3</sup>.

**Determinação de nitratos****Material:**

- Nitrato de potássio p.a. ( $\text{KNO}_3$ : solução padrão com  $620 \text{ mg dm}^{-3}$  em nitrato)
- Nitrito de potássio p.a. ( $\text{KNO}_2$ : solução padrão com  $460 \text{ mg dm}^{-3}$  em nitrito)
- Solução de sulfanilamida p.a. ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ )  $6 \text{ g dm}^{-3}$ , armazenar a  $4^\circ\text{C}$ .
- Solução aquosa de ácido clorídrico (HCl) 1:4
- Reagente de *N*-(1-naftil)etilenodiamina (NEDD)  $1 \text{ g dm}^{-3}$
- Zinco metálico finamente dividido (Zn: granulometria)
- Cloreto de sódio p.a. (NaCl)
- Água desionizada
- Balões volumétricos
- Pipetas volumétricas
- Pipetas graduadas
- Balões erlenmeyer de 100 mL
- Placas de agitação magnética e magnetes
- Balões kitasato de 100 mL
- Funil de buckner
- Papel de filtro
- Espectrofotômetro UV/Vis

**Procedimento:**

Análise de nitritos obtidos por redução de nitratos:

1. Partindo de uma solução padrão inicial contendo  $620 \text{ mg dm}^{-3}$  em nitrato, preparar, em balões de  $50 \text{ cm}^3$ , soluções padrão de trabalho com as concentrações 3,1; 6,2; 12,4; 24,8 e  $49,6 \text{ mg dm}^{-3}$  em iões  $\text{NO}_3^-$ .
2. Pipetar 25 mL de cada solução padrão de trabalho para balões erlenmeyer de 100 mL.
3. Pesar 100 mg de Zn e 2 g de NaCl e adicionar a cada balão (de forma a garantir que todas as soluções contêm a mesma quantidade de mistura redutora).
4. Adicionar a cada balão 1 mL de solução aquosa de HCl 1:4.
5. Adicionar por fim a cada balão 1 mL de solução aquosa de sulfanilamida com a concentração de  $6 \text{ g dm}^{-3}$ .
6. Todos os padrões foram preparados em triplicado.
7. Repetir o mesmo procedimento para as amostra de solução nutritiva intermédia (solução 1) diluídas 50 vezes e para as amostra de solução nutritiva menos concentrada (solução 01) diluídas 5 vezes.
8. As misturas reacionais são sujeitas a agitação constante durante 10 minutos.
9. Seguidamente, cada mistura reacional é filtrada com recurso a trompa de vácuo, balão kitasato e funil de buckner.
10. Cada solução filtrada é transferida para balão volumétrico de 50 mL, e é adicionado seguidamente 1 mL de solução de NEDD com a concentração de  $1 \text{ g dm}^{-3}$  e o volume de cada balão é ajustado a 50 mL com água desionizada.
11. Como solução de referência é preparado um branco com 1 mL de HCl (1:4), 1 mL de sulfanilamida, 1 mL de NEDD, e ajustado a 50 mL com água desionizada.
12. As leituras de absorvência são feitas a 540 nm dentro do período de 10 minutos até 2 horas seguintes.
13. A quantificação é obtida por cálculo de regressão linear usando o método dos mínimos quadrados aplicado à relação Absorvência/concentração de cada solução de nitratos expressa em  $\text{mg dm}^{-3}$ .

**Doseamento do fósforo total****Material:**

- Solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $2,5 \text{ mol dm}^{-3}$
- Solução de molibdato de amónio  $4 \text{ g/100 mL}$
- Solução de ácido ascórbico  $17,6 \text{ g dm}^{-3}$
- Solução emética (tartarato de Sb e K)  $0,274 \text{ g dm}^{-3}$
- Solução padrão de di-hidrogenofosfato de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )  $0,011 \text{ g dm}^{-3}$  em P
- Água desionizada
- Balança
- Vidro de relógio
- Espátula
- Balões volumétricos
- Pipetas
- Espectrofotômetro UV/Vis

**Procedimento:**

1. Preparar a solução reagente, misturando 40 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $2,5 \text{ mol dm}^{-3}$ , 12 mL de solução de molibdato de amónio  $4 \text{ g dm}^{-3}$ , 24 mL solução de ácido ascórbico  $17,6 \text{ g dm}^{-3}$  e 4 mL solução emética (tartarato de Sb e K)  $0,274 \text{ g dm}^{-3}$ .
2. Preparar uma solução padrão de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$   $0,011 \text{ g dm}^{-3}$  em P.
3. Preparar em balões volumétricos de 50 mL o conjunto de padrões ( $P_1$  a  $P_5$ ) e amostras ( $A_x$ ) de solução nutritiva a analisar, de acordo com o quadro:

Volume/mL	T	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$A_x$
Solução padrão $0,011 \text{ g dm}^{-3}$ em P	0	2	4	6	8	10	-
Solução nutritiva 01	-	-	-	-	-	-	10
Solução nutritiva 1	-	-	-	-	-	-	1
Solução reagente	4	4	4	4	4	4	4
$\text{H}_2\text{O}$ desionizada	----- Até perfazer 50 mL -----						
$\text{mg dm}^{-3}$ de P	-	0,44	0,88	1,32	1,76	2,2	?

4. As leituras de absorvência são feitas a 690 nm após 20 minutos de repouso.
5. A quantificação é obtida por cálculo de regressão linear usando o método dos mínimos quadrados aplicado à relação absorvência/concentração de cada solução de fósforo total expressa em  $\text{mg dm}^{-3}$ .

**Nota:** Ajuste da relação Zn/NaCl:

- Se o Zn utilizado não apresentar a granulometria recomendada será necessário otimizar a quantidade de Zn/NaCl. Preparar diversas misturas de Zn/NaCl entre 20 mg e 100 mg de Zn por cada 2 g de NaCl e avaliar a eficiência de redução.
- Partindo-se da solução nutritiva com concentração de nitratos próxima de  $834 \text{ mg dm}^{-3}$ , preparar uma solução 50 vezes menos concentrada de forma a obter valores de sinal instrumental ajustados à curva de calibração.
- Comparar os parâmetros das retas de calibração obtidas ( $y = mx + b$ ) com a resposta de soluções padrão de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) na mesma gama de concentrações. Calcular a eficiência de redução de nitratos a nitritos, nas condições experimentais aplicadas.

**Exemplo:**

Zn (mg)	NaCl (g)
20	Ajustado a uma massa total de 2 g
40	
100	
500	
1000	
50	Ajustado a 1 g

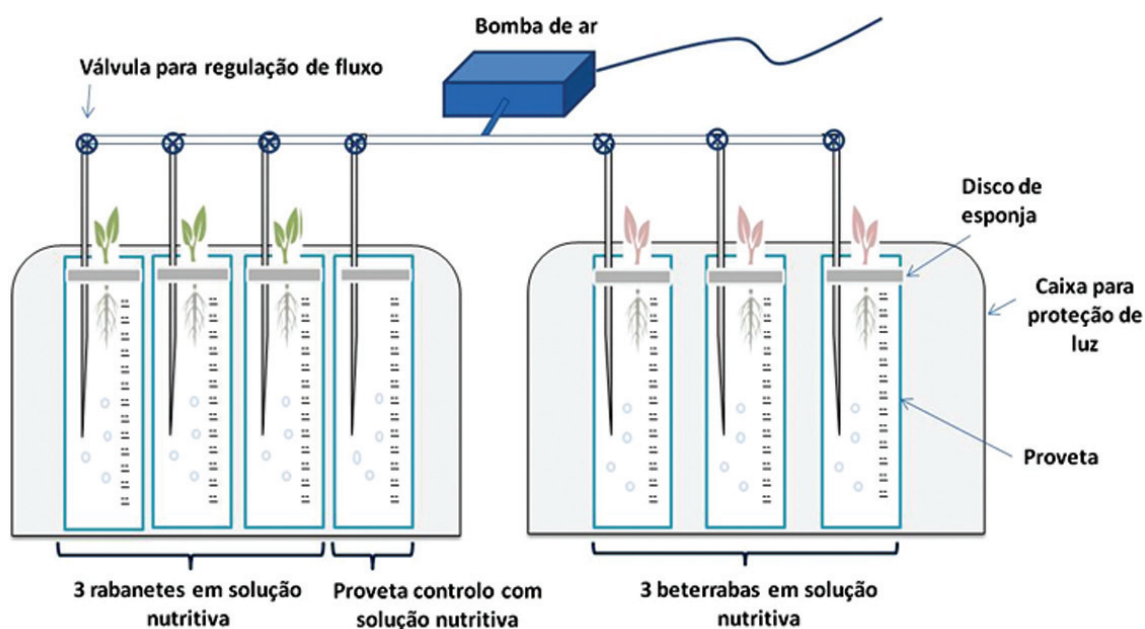


Figura 6 – Esquema de montagem laboratorial para cada solução nutritiva.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METAS CURRICULARES A ATINGIR

Para desenvolvimento do projeto é proposta a realização de diversas técnicas/métodos analíticos, designadamente: preparação de soluções; medição de pH utilizando medidor de pH calibrado; determinação de íons cálcio e magnésio por titulação complexométrica com EDTA, de catiões totais por cromatografia de troca iônica, de íons nitrato por redução a nitritos e respetiva análise espectrofotométrica e de fósforo total também por análise espectrofotométrica.

Na tabela 1, e na sequência dos objetivos identificados nos diagramas apresentados nas Figuras 3 e 4, são discriminados por técnica/método analítico os referenciais teóricos e as diversas competências laboratoriais que cada atividade pode proporcionar, bem como identificada a integração destas competências nos conteúdos curriculares dos 10.º, 11.º e 12.º anos de escolaridade.

No sentido de sensibilizar os alunos para as questões de segurança relacionadas com a manipulação de substâncias químicas aconselha-se a consulta das fichas de dados de segurança de produtos químicos (SDS) da Merck [16] de todas as substâncias químicas utilizadas nas atividades laboratoriais propostas.

#### 3.2. RELAÇÃO GRÁFICA DOS PARÂMETROS DE CONSUMO E CRESCIMENTO

Para tornar mais clara a representação gráfica dos resultados obtidos, para cada experiência foram definidos códigos de representação por espécie de planta e por concentração de solução nutritiva estudada, designadamente:

C10/B10/R10 - Controle/Beterraba/Rabanete em solução nutritiva com concentração 10 vezes superior à concentração de nutrientes recomendada (solução 10, ver seção 2.1).

C1/B1/R1 - Controle/Beterraba/Rabanete em solução nutritiva com concentração de nutrientes recomendada (solução 1, ver seção 2.1).

C01/B01/R01 - Controle/Beterraba/Rabanete em solução nutritiva com concentração 10 vezes inferior à concentração de nutrientes recomendada (solução 01, ver seção 2.1).

Para cada espécie e cada concentração foram tratados os resultados obtidos para três replicados e representados graficamente por a, b e c.

Relativamente à solução nutritiva com concentração 10 vezes superior à concentração de nutrientes recomendada (código: C10/B10/R10) verificou-se logo no primeiro conjunto de amostragens que as plantas ou tinham morrido ou apresentavam elevado grau de definhamento, com maior impacto nas beterrabas. Esta observação resulta do facto de a concentração de macronutrientes em solução ser superior à concentração dos mesmos na planta provocando uma difusão por osmose de água da planta para o meio, com conseqüente definhamento seguido de morte da planta por secura. Por esta razão considerou-se irrelevante a sua análise, tendo em atenção o acréscimo de tempo e o consumo de reagentes necessários ao processo analítico associado, tendo sido efetuadas apenas medições de valores de pH para as amostras recolhidas com esta concentração de solução nutritiva. A experiência é, no entanto, determinante para observar e compreender a importância da concentração dos macronutrientes no meio para o estado de saúde e desenvolvimento das plantas. Para as outras concentrações estudadas foram observados diferentes graus de desenvolvimento dependente das espécies em estudo e que serão graficamente reportados e confrontados com os parâmetros químicos analisados.

##### 3.2.1 MEDIÇÃO DE pH

Na Figura 7 são apresentados os valores de pH médios de seis amostras por espécie e por concentração de solução

Tabela 1 – Atividades laboratoriais e competências a adquirir.

Retorno da aprendizagem	
Atividade laboratorial	Competências conceituais
<p><b>Preparação de soluções:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a partir de sólidos;</li> <li>- a partir de líquidos;</li> <li>- diluição de soluções.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterização dos elementos das substâncias em análise na tabela periódica (H, N, O, Na, Mg, P, S, K, Ca, Cl, Microelementos).</li> <li>▪ Identificação do número de massa e número atômico.</li> <li>▪ Nomenclatura dos compostos iônicos</li> <li>▪ <math>\text{KNO}_3</math>, <math>\text{Ca}(\text{NO}_3)_2</math>, <math>\text{NH}_4\text{NO}_3</math>, <math>\text{MgSO}_4</math>, <math>\text{KH}_2\text{PO}_4</math>.</li> <li>▪ Massa atômica, massa molecular, massa molar. Cálculo de massa molar de substâncias compostas (<math>\text{g mol}^{-1}</math>).</li> <li>▪ Conceito de concentração.</li> <li>▪ Unidades de concentração (<math>\text{mol dm}^{-3}</math>; <math>\text{mmol dm}^{-3}</math>; <math>\text{g dm}^{-3}</math>; <math>\text{mg dm}^{-3}</math>; <math>\% \text{ m v}^{-1}</math>; <math>\% \text{ m m}^{-1}</math>; densidade (<math>\rho</math>); conversão de unidades).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Medição de pH.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceito de equilíbrio químico ácido-base.</li> <li>▪ Conceitos de ácido e base forte e ácido e base fraca.</li> <li>▪ pH de uma solução.</li> <li>▪ Solução tampão.</li> <li>▪ Potencial de oxidação-redução e potencial de eletrodo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Padronização de soluções.</b></li> <li>▪ <b>NaOH 0, 1 mol/dm<sup>3</sup></b></li> <li>▪ <b>EDTA 0,01 mol/dm<sup>3</sup></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceitos de Titulação, Titulante (T) e Titulado (t).</li> <li>▪ Escrita e acerto de equações químicas.</li> <li>▪ Conceito de ponto de equivalência e estequiometria de reação (<math>t.n_t = T.n_t</math>).</li> <li>▪ Teoria e aplicação de indicadores (ácido-base e complexometria).</li> <li>▪ Relação entre quantidade química (n) e concentração (<math>C_t</math>): <math>C_t = n/v</math></li> </ul>
	<p><b>Competências laboratoriais</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medição de volumes, distinção de material volumétrico (pipeta volumétrica, pipeta graduada, bureta, balão volumétrico, proveta).</li> <li>▪ Pesagens, distinção de equipamento de pesagem (balança técnica e balança analítica).</li> <li>▪ Cuidados de execução laboratorial na preparação de soluções.</li> </ul>
	<p><b>Integração nos conteúdos curriculares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 10.º ano:</li> <li>▪ Elementos Químicos e sua organização.</li> <li>▪ Gases e dispersões.</li> <li>▪ Atividades laboratoriais AL 2.2 e 2.3.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Reações em sistemas aquosos: reações ácido-base.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Titulação ácido-base.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 2.2.</li> <li>▪ Química 12.º ano:</li> <li>▪ Metais, complexos e cor.</li> <li>▪ Os metais no organismo humano.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 1.6.</li> </ul>

(continua)

(continuação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Doseamento de cátions totais</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificar a partir de informação selecionada, alguns metais essenciais à vida (Fe, Mg, Ca, K, Na, etc) e identificar a sua função.</li> <li>▪ Conceito de cromatografia enquanto técnica separativa.</li> <li>▪ Princípio básico de cromatografia de troca iónica (fase estacionária/fase móvel/equilíbrio de distribuição, <math>K_D</math>).</li> <li>▪ Conceito de equilíbrio químico ácido-base. Conceitos de ácido e base forte e ácido e base fraca, pH de uma solução.</li> <li>▪ Titulação ácido forte-base forte.</li> <li>▪ Indicadores ácido-base.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificação e cuidados no manuseamento de material de medição volumétrica (ex: bureta).</li> <li>▪ Identificação e cuidados no manuseamento de material de medição mássica (ex: balança analítica).</li> <li>▪ Procedimento de titulação/homogeneização de mistura reacional.</li> <li>▪ Identificação e cuidados na manipulação de ácidos e bases concentrados.</li> <li>▪ Preparação/montagem de coluna cromatográfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Titulação ácido-base.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 2.2.</li> <li>▪ Química 12.º ano:</li> <li>▪ Metais, complexos e cor.</li> <li>▪ Os metais no organismo humano.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 1.6.</li> <li>▪ Aprendizagem adicional: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparação/montagem de coluna cromatográfica.</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Doseamento do <math>Ca^{2+} + Mg^{2+}</math></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distinguir iões simples/iões complexos. (exemplo: <math>Ca^{2+}</math>, <math>Mg^{2+}</math>/ [EDTA-<math>M</math>]<math>^{2-}</math>)</li> <li>▪ Agentes complexantes/quelantes (exemplo: [EDTA-2H]<math>^{2-}</math>).</li> <li>▪ Identificar e caracterizar reações de complexação.</li> <li>▪ Soluções tampão, preparação e funcionamento de uma solução tampão.</li> <li>▪ Identificar os pares de espécies químicas responsáveis pelo efeito tampão (exemplo: <math>NH_3/NH_4Cl</math>).</li> <li>▪ Equilíbrio de complexação. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Titulação complexométrica.</li> </ul> </li> <li>▪ Interpretar a influência do pH do meio na titulação complexométrica do <math>Ca^{2+}</math> e do <math>Mg^{2+}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificação e cuidados no manuseamento de material de medição volumétrica (ex: bureta).</li> <li>▪ Identificação e cuidados no manuseamento de material de medição mássica (ex: balança analítica).</li> <li>▪ Procedimento de titulação/homogeneização de mistura reacional.</li> <li>▪ Identificação e cuidados na manipulação de ácidos e bases concentrados.</li> <li>▪ Preparação de uma solução tampão.</li> <li>▪ Distinção de iões complexos por formação de cor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Titulação ácido-base.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 2.2.</li> <li>▪ Química 12.º ano:</li> <li>▪ Metais, complexos e cor.</li> <li>▪ Os metais no organismo humano.</li> <li>▪ Atividade laboratorial AL 1.6.</li> <li>▪ Aprendizagem adicional: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparação de uma solução tampão.</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Doseamento de Nitratos</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterização dos iões <math>NO_3^-/NO_2^-</math>. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligação química, escrita de Lewis e teoria de RPEV, ligação molecular covalente, ligação iónica, híbridos de ressonância e geometria molecular.</li> </ul> </li> <li>▪ Identificação de reações de oxidação-redução e sua caracterização (Identificação da espécie oxidada e espécie reduzida). <ul style="list-style-type: none"> <li>- A cor como expressão de interação radiação-matéria.</li> <li>- Espectros de absorção molecular UV-Vis.</li> </ul> </li> <li>▪ A lei de Lambert-Beer, sua aplicação para determinar a concentração de uma substância em solução.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparação de soluções padrão a partir de solutos sólidos e por diluição.</li> <li>▪ Preparação e avaliação de rendimento de misturas oxidantes.</li> <li>▪ Preparação de soluções reacionais (função: reagente de derivatização química).</li> <li>▪ Reconhecimento e cuidados na manipulação do espectrofotómetro.</li> <li>▪ Controle de tempo reacional.</li> <li>▪ Técnicas de filtração a pressão reduzida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 10.º ano:</li> <li>▪ Gases e dispersões.</li> <li>▪ Atividades laboratoriais AL 2.2 e 2.3.</li> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Aspectos quantitativos das reações químicas.</li> <li>▪ Equilíbrio químico extensão das reações químicas.</li> <li>▪ Reações de oxidação-redução.</li> </ul>	

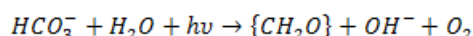
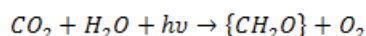
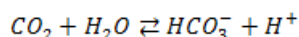
(continua)



(continuação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A lei de Lambert-Beer, sua aplicação para determinar a concentração de uma substância em solução.</li> <li>▪ Traçar curva de calibração (absorvência vs. concentração).</li> <li>▪ Determinar a concentração da solução problema a partir da curva de calibração.</li> <li>▪ Identificar reação de derivatização colorimétrica.</li> <li>▪ Determinação da extensão ou rendimento da reação por comparação com método de referência (<math>\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medições e registo de leituras espectrofotométricas.</li> <li>▪ Construção de curva de calibração Absorvência/concentração utilizando ferramentas digitais.</li> <li>▪ Análise comparativa de resultados usando como base soluções de referência.</li> <li>▪ Identificar e avaliar erros associados a determinações colorimétricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 12.º ano:</li> <li>▪ A cor e a composição quantitativa de soluções com íons metálicos: Atividade de laboratorial AL 1.5.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Doseamento de Fósforo Total</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortofosfatos: <math>\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{3-}</math>.</li> <li>- Ligação química, escrita de Lewis e teoria de RPEV, ligação molecular covalente, ligação iônica e geometria molecular.</li> <li>• Identificação de reações de oxidação-redução e sua caracterização (Identificação da espécie oxidada e espécie reduzida).</li> <li>• A cor como expressão de interação radiação-matéria.</li> <li>- Espectros de absorção molecular UV-Vis.</li> <li>• A lei de Lambert-Beer, sua aplicação para determinar a concentração de uma substância em solução.</li> <li>• Traçar curva de calibração (absorvência vs. concentração).</li> <li>• Determinar a concentração da solução problema a partir da curva de calibração.</li> <li>• Identificar reação de derivatização colorimétrica.</li> <li>• Os metais como catalisadores (ex: Sb).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparação de soluções padrão a partir de solutos sólidos e por diluição.</li> <li>▪ Preparação de soluções reacionais (função: reagente de derivatização química).</li> <li>▪ Reconhecimento e cuidados na manipulação do espectrofotômetro.</li> <li>▪ Controle de tempo reacional.</li> <li>▪ Medições e registo de leituras espectrofotométricas.</li> <li>▪ Construção de curva de calibração Absorvência/concentração utilizando ferramentas digitais.</li> <li>▪ Identificar e avaliar erros associados a determinações colorimétricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Química 10.º ano:</li> <li>▪ Gases e dispersões.</li> <li>▪ Atividades laboratoriais AL 2.2 e 2.3.</li> <li>▪ Química 11.º ano:</li> <li>▪ Aspectos quantitativos das reações químicas.</li> <li>▪ Equilíbrio químico extensão das reações químicas.</li> <li>▪ Reações de oxidação-redução.</li> <li>▪ Química 12.º ano:</li> <li>▪ A cor e a composição quantitativa de soluções com íons metálicos: Atividade de laboratorial AL 1.5.</li> </ul>

nutritiva utilizada. Os valores obtidos são comparados com o valor de pH para a solução controle a cada uma das concentrações. A observação dos resultados obtidos permite verificar que os valores tanto para beterrabas como rabanetes são tendencialmente superiores aos valores das respectivas soluções controle. No entanto, com os rabanetes observa-se um aumento do pH mais acentuado nas soluções estudadas. De acordo com a literatura [17,18], o crescimento das plantas em solução nutritiva não tamponada pode apresentar alteração do valor do pH da solução, uma vez que as raízes podem provocar uma diminuição do pH por exodação de íons  $H^+$ , ou provocar um aumento de pH por liberação de íons hidroxilo ou de íons hidrogenocarbonato.

Adicionalmente, uma justificação possível para o conjunto de dados obtidos, relativa ao ligeiro aumento de pH (de 5,6 para 6,5), poder-se-á dever a um efeito secundário resultante do arejamento contínuo da solução, paralelamente com a exposição das soluções à luz solar nos processos de manipulação. Esta situação pode conduzir a um aumento de pH do meio de acordo com o conjunto de reações químicas abaixo apresentado [19], onde  $\{CH_2O\}$  representa alguma biomassa possivelmente produzida em solução sob a forma de microalgas, com a correspondente liberação de íons hidroxilo. Por esta razão a preservação das soluções nutritivas da ação da luz solar é fundamental.



### 3.2.2 CONSUMO DE MACRONUTRIENTES

O doseamento de catiões foi realizado em experiências complementares onde se determinou o consumo de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  por titulação complexométrica e o consumo de catiões totais por cromatografia de troca catiónica seguida de titulação ácido-base do eluato. Os resultados obtidos, expressos em  $\mu mol$  de íons consumidos foram relacionados com o crescimento médio por dia (em centímetros), para cada planta e concentração de solução nutritiva. O resultado do estudo comparativo é apresentado na Figura 8, onde podemos observar que o consumo de catiões totais é superior nos rabanetes relativamente às beterrabas para ambas as soluções nutritivas, acompanhando de perto a mesma tendência no crescimento. No que diz respeito ao consumo de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  observa-se a mesma tendência, em ambas as espécies, para a solução menos concentrada, mas uma inversão de tendência no que diz respeito ao comportamento dos rabanetes em solução mais concen-

trada. Podemos ainda observar, que para a mesma espécie, o consumo de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e de catiões totais é maior quando a solução nutritiva é mais concentrada, à exceção dos rabanetes, onde esta tendência é contrária, para o consumo de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ .

O consumo de íons nitrato foi determinado por análise espectrofotométrica a 540 nm após redução a nitritos por ação da mistura de Zn/NaCl, em meio ácido, seguida de reação de derivatização com sulfanilamida e reagente NEDD. Os resultados obtidos após aplicação do método de cálculo estatístico dos mínimos quadrados são apresentados na Figura 9, onde se pode observar que o consumo de íons nitrato por dia, para cada planta e concentração de solução nutritiva, expresso em  $mmol$ , segue a tendência anteriormente referida para o consumo de catiões totais.

O rendimento da reação de redução das soluções e amostras de nitratos a nitritos foi quantificado por confronto com curva de calibração de padrões de nitritos, tendo sido calculado um fator de eficiência sistemático próximo de 4%, o que implicou a utilização de soluções padrão de nitrato com concentrações aproximadamente 10 vezes superiores às que seriam utilizadas se o rendimento de redução fosse 100%, de forma a obter valores de absorvência próximos do intervalo entre 0,1 e 1. O fator de eficiência de redução deve ser otimizado através de um estudo da relação quantidade de Zn vs. NaCl em cada porção de mistura redutora tendo em consideração a dimensão média de partícula de zinco pulverizado. Na tabela 2 são apresentados os parâmetros de quantificação para as gama de trabalho (GT) selecionadas, tendo como referência os valores de concentração iónica de nitratos na solução nutritiva 10 vezes menos concentrada. Todos os valores dos coeficientes de determinação estão claramente acima do valor de referência de 0,990 [20], indicativo de uma boa relação linear dentro da gama de trabalho selecionada.

O doseamento de fósforo total foi realizado por análise espectrofotométrica a 690 nm após reação de derivatização a complexo fosfomolibdico na presença de meio redutor de ácido ascórbico e  $H_2SO_4$ . Na tabela 3 são apresentados os parâmetros de quantificação para a gama de trabalho (GT) selecionada, tendo como referência os valores de concentração de fósforo total na solução nutritiva recomendada (solução 1). O valor do coeficiente de determinação está acima do valor de referência 0,990 [20], o que indica uma relação linear aceitável dentro da gama de trabalho selecionada.

Os resultados de concentração obtidos para as amostras são apresentados na Figura 10, expressos em  $\mu mol$  de fósforo consumido, e relacionados com o crescimento médio por

Tabela 2 – Parâmetros de quantificação para análise de íons nitrato e nitrito.

	GT $mg\ dm^{-3}$	Equação da reta de regressão linear	$R^2$	LD $mg\ dm^{-3}$	LQ $mg\ dm^{-3}$
Nitratos	3,1 - 49,6	$y = (0,013 \pm 0,001)x + (0,02 \pm 0,03)$	0,9970	2,9	9,7
Nitritos	0,23 - 3,68	$y = (0,523 \pm 0,007)x + (-0,01 \pm 0,02)$	0,9995	0,095	0,32

GT - Gama de trabalho; LD - Limite de deteção; LQ - Limite de quantificação.

**Tabela 3** – Parâmetros de quantificação para a análise de fósforo total.

	GT mg dm <sup>-3</sup>	Equação da reta de regressão linear	R <sup>2</sup>	LD mg dm <sup>-3</sup>	LQ mg dm <sup>-3</sup>
Fósforo total	0,44 - 2,2	$y = (0,14 \pm 0,02)x + (0,01 \pm 0,02)$	0,9943	0,2	0,7

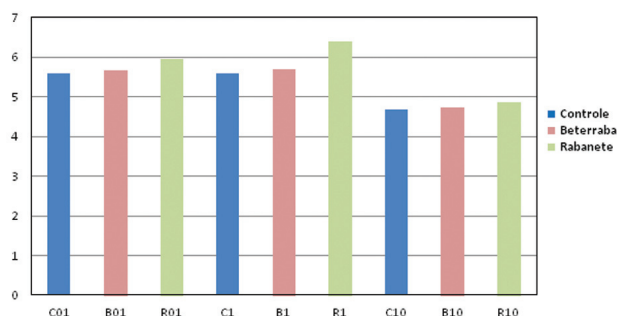
GT - Gama de trabalho; LD - Limite de detecção; LQ - Limite de quantificação.

dia, para cada planta e concentração de solução nutritiva. Relativamente às beterrabas verifica-se a tendência anteriormente relatada para os outros parâmetros químicos analisados, observando-se um maior consumo quando a concentração de nutrientes no meio é superior, acompanhado pelo correspondente aumento no crescimento. No que diz respeito aos rabanetes observaram-se comportamentos discrepantes, designadamente o aumento da concentração de fósforo no meio para a solução nutritiva diluída 10 vezes (solução 1). Esta observação discrepante foi confirmada como não sendo resultante de contaminação de material por interferência de detergentes de lavagem. Este fenómeno é observado na solução em que o valor de pH apresentou um maior aumento e poderá estar associado à formação de

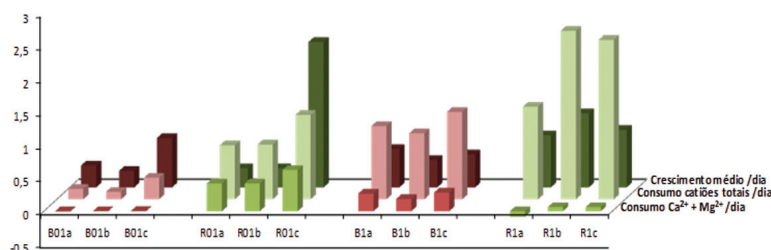
espécies fosfatadas, que apresentam menor biodisponibilidade (em resultado de precipitação com metais presentes em solução: ex. Ca<sup>2+</sup>), reforçado com o aumento do teor de fósforo total em solução devido a eventual mineralização por decomposição de alguma biomassa em solução (raízes, vestígios de microalgas) [18,21,22]. Este comportamento tendencial para a mesma solução foi também observado, de forma menos acentuada, relativamente aos consumos medidos para o cálcio e magnésio.

#### 4. CONCLUSÃO

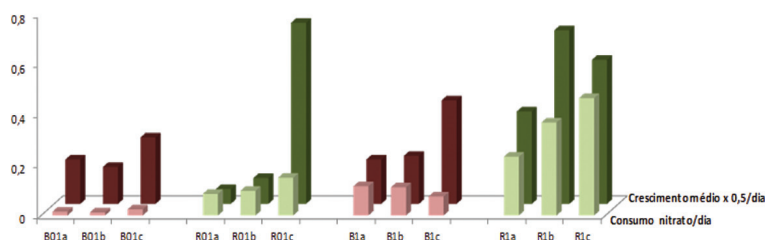
O projeto proposto permite, através do conjunto de experiências laboratoriais selecionadas, reconhecer, explorar e sedimentar um conjunto lato de conceitos químicos, desde a Tabela Periódica e Ligação Química até Reações em Solução e Equilíbrio Químico, passando por conceitos de Relação Mássica, Preparação de Soluções e Tratamento de Resultados, que integram os programas curriculares do 10.º ao 12.º anos. Por não pretender ser exaustivo em termos de abarcar todos os conteúdos programáticos curriculares, deverá desempenhar um papel paralelo à sala de



**Figura 7** – Representação dos valores médios de pH por espécie e por concentração.

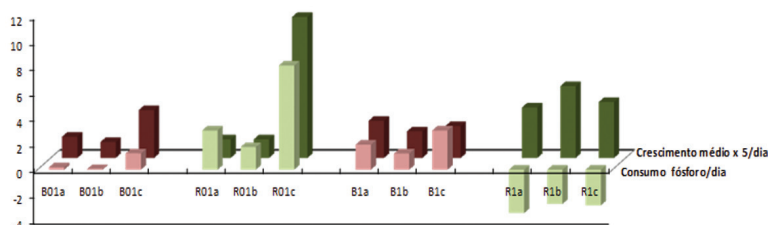


**Figura 8** – Representação do crescimento (cm) e dos valores médios de µmol consumidos de iões (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>), e cationes totais, por dia e por planta.



**Figura 9** – Representação do crescimento (cm) e dos valores médios de mmol consumidos de iões NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por dia e por planta.

**Nota:** os valores de crescimento foram ajustados por um fator de 0,5 para melhor visualização gráfica.



**Figura 10** – Representação do crescimento (cm) e dos valores médios de µmol consumidos de fósforo total por dia e por planta.

**Nota:** os valores de crescimento foram ajustados por um fator de 5 para melhor visualização gráfica.

aula, abrindo um campo para a amplificação dos conhecimentos lecionados num espaço interdisciplinar.

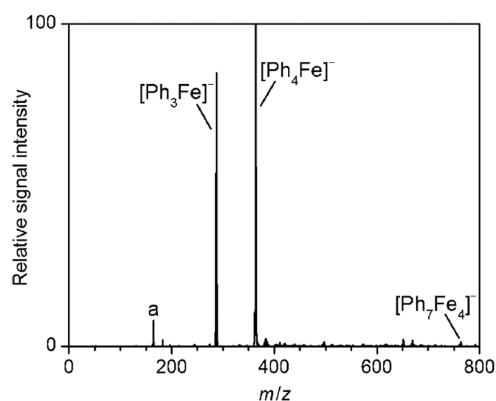
## REFERÊNCIAS

- [1] N. Reid, *Chem. Educ. Res. Pract.* **9** (2008) 51–59.
- [2] R.D. Schwartz-Bloom, M.J. Halpin, J.P. Reiter, *J. Chem. Educ.* **88** (2011) 744–750.
- [3] M.M. Baum, E.S. Krider, J.A. Moss, *J. Chem. Educ.* **83** (2006) 1784–1787.
- [4] S.G. Cessna, T.L.S. Kishbaugh, D.G. Neufeld, *J. Chem. Educ.* **86** (2009) 726–729.
- [5] B.R.J. Abdella, M.M. Walczak, K.A. Kandl, J.J. Schwinefus, *J. Chem. Educ.* **88** (2011) 1257–1263.
- [6] S.D. Cummings, *J. Chem. Educ.* **90** (2013) 523–524.
- [7] M.C. Wesollowski, *J. Chem. Educ.* **91** (2014) 1224–1227.
- [8] A. Hakim, Lilisari, A. Kadarohman, Y.M.Syah, *J. Chem. Educ.* **93** (2016) 193–196.
- [9] DGIDC Web: [http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Fisica\\_Quimica\\_A/progrma\\_fqa\\_10\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Fisica_Quimica_A/progrma_fqa_10_11.pdf) (Direção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acessado em 24-10-2015).
- [10] DGIDC Web: [http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos\\_Disciplinas\\_novo/Curso\\_Ciencias\\_Tecnologias/Quimica/metast\\_curriculares\\_quimica\\_12.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Documentos_Disciplinas_novo/Curso_Ciencias_Tecnologias/Quimica/metast_curriculares_quimica_12.pdf) (Direção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acessado em 24-10-2015).
- [11] [http://www.adubosdeiba.com/produtos\\_genericos-deiba.php](http://www.adubosdeiba.com/produtos_genericos-deiba.php) produtos (accedido em 12-11-2015).
- [12] <http://www.nutrisapec.pt/doc/tecnicas/Activfer%20-%20Ficha%20T%C3%A9cnica%20-%20Layout%20Nutri%20-%20v3.pdf> (accedido em 12-11-2015).
- [13] D.R. Hoagland, D.I. Arnon, The water culture method for growing plants without soil, *Calif. Agric. Expt. Stn. Circ.* 347 (1938) 1–39.
- [14] M.H. Jensen, W.L. Collins, *Hydroponic Vegetable Production*, in J. Janick (ed.), "Horticultural Reviews", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA., Vol. 7, cap. 10 (1985) 483–558.
- [15] S.E. Kegley, J. Andrews, *The Chemistry of Water*, University Science Books, USA, 1998.
- [16] <http://www.merckmillipore.com/PT/pt?RedirectedFrom=http://www.merck-chemicals.com/pt/>
- [17] D.R. Hershey, *J. Biol. Educ.* **26** (1992) 107–111.
- [18] S. Tu, L.Q. Ma, *Environmental and Experimental Botany*, **50** (2003) 243–251.
- [19] S. E. Manahan, *Environmental Chemistry*, 9th Ed. CRC Press, cap. 3 (2010) 59–61.
- [20] RELACRE, 2013. Guia RELACRE 13 - Validação de métodos internos de ensaio em análise química, fevereiro 2000 ed.
- [21] D.P. Schachtman, R.J. Reid, S.M. Ayling, *Plant Physiol.* **116** (1998) 447–453.
- [22] J. Shen, L. Yuan, J. Zhang, H. Li, Z. Bai, X. Chen, W. Zhang, F. Zhang, *Plant Physiol.* **156** (2011) 997–1005.

## ATUALIDADES CIENTÍFICAS

### NOVA LUZ SOBRE REAÇÕES DE ACOPLAMENTO CRUZADO CATALISADAS POR FERRO

As reações de acoplamento cruzado catalisadas por ferro podem ser uma alternativa às mais convencionais catalisadas por paládio, por exemplo, se se tiver em conta uma maior preocupação do ponto de vista da síntese orgânica sustentável, devido à maior disponibilidade, custo favorável e menores problemas ambientais causados pelo ferro. No entanto, o mecanismo destas reações ainda não está completamente elucidado devido à incerteza quanto à estrutura dos intermediários envolvidos.



Recentemente, Tobias Parchomyk e Konrad Koszinowski, da Universidade de Göttingen, Alemanha, realizaram um estudo mais aprofundado do mecanismo deste tipo de reações usando a espectrometria de massa acoplada a ionização por *electrospray* (ESI-MS) para identificar espécies químicas de ferro em solução. A reação-modelo usada, transmetalização de  $\text{Fe}(\text{acac})_3$  (acac = acetilacetato) com  $\text{PhMgCl}$  em THF, na presença e na ausência de diferentes ligandos e outras espécies químicas em solução, produziu complexos aniônicos de ferro (com estados de oxidação formal +1 a +3) que puderam ser identificados e a sua reatividade estudada.

Os resultados obtidos permitem uma melhor compreensão do mecanismo das reações de acoplamento cruzado catalisadas por ferro e mostram que os aniões organoferrato gerados *in situ* podem agir como intermediários catalíticos.

#### Fontes:

Iron Catalysts Up Close, [http://www.chemistryviews.org/details/ezone/9975581/Iron\\_Catalysts\\_Up\\_Close.html?elq\\_mid=13071&elq\\_cid=3605105](http://www.chemistryviews.org/details/ezone/9975581/Iron_Catalysts_Up_Close.html?elq_mid=13071&elq_cid=3605105) (Acedido em 28/10/2016)

T. Parchomyk, K. Koszinowski, *Ate Complexes in Iron-Catalyzed Cross-Coupling Reactions*. *Chem. Eur. J.* **22** (2016) 15609–15613. DOI: 10.1002/chem.201603574

Paulo Mendes  
(pjgm@uevora.pt)