

Sorelho: valorização agronómica e utilização no tratamento de chorumes

Inês Filipa Alves Costa

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica – Especialização Agropecuária

Orientadores: Doutor David Paulo Fangueiro

Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa

Júri:

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Miguel Pedro de Freitas Barbosa Mourato, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor David Paulo Fangueiro, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Índice

Agradecimentos.....	III
Resumo	IV
Abstract	V
Índice de Figuras	VI
Índice de Quadros	IX
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1. Subprodutos das indústrias agroalimentares.....	4
2.1.1. Sorelho: produção e caracterização.....	6
2.1.2. Tratamento e atual valorização como resíduo	8
2.2. Utilização de chorume e problemas ambientais associados: emissões de NH ₃	10
2.2.1. Tratamento de chorumes para redução de emissões de NH ₃ : Acidificação.	12
2.3. Pastagens e Forragens	
2.3.1. Azevém Italiano (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	15
2.3.2. Fertilização de Azevém Italiano e dinâmica de azoto na planta	16
2.4. Azoto e outros nutrientes no solo	17
2.5. Impacto da salinidade no crescimento das plantas e na estrutura dos solos 2020	
3. Material e Métodos	22
3.1 Materiais utilizados no ensaio.....	22
3.1.1. Caracterização do solo	22
3.1.2. Caracterização do sorelho	23
3.1.3. Chorume	24
a) Caracterização do chorume.....	24
b) Tratamento de chorume: acidificação com sorelho	24
c) Tratamento de chorume com sorelho: impacto no pH do chorume e na volatilização de amoníaco após aplicação ao solo.....	25
3.2. Instalação e Condução do Ensaio em Vasos com Azevém	26
3.2.1. Pré-germinação e sementeira	27
3.2.2. Abubação de Cobertura	28
3.2.3. Colheita e pós-colheita.....	30
3.2.3.1. Recolha e processamento do material vegetal	30
3.2.3.2. Recolha e processamento das raízes	31
3.2.3.3. Amostragem do solo	31

3.3. Instalação e Condução do Ensaio de Incubação	32
3.4. Cálculos utilizados na interpretação de resultados	34
a) Ensaio em Vasos com plantas de azevém	34
b) Ensaio de incubação	35
3.5 Tratamento estatístico	35
4. Resultados e Discussão.....	36
4.1 Acidificação do chorume com sorelho	36
4.1.1. Características do sorelho utilizado	36
4.1.2. Características do chorume utilizado.....	37
4.1.3. Variação do pH do chorume	37
4.1.4. Emissões de amoníaco (NH ₃)	39
4.2. Ensaio em vasos com plantas de azevém	40
4.2.1. Resultados obtidos relativamente ao material vegetal nos 3 cortes de Azevém Italiano	40
4.2.1.1. Matéria Verde.....	40
4.2.1.2. Matéria Seca	43
4.2.1.3. Concentração de Azoto na Matéria Seca	45
4.2.1.4. Raízes	46
4.2.2. Exportação e eficiência de utilização de azoto	47
4.3. Resultados obtidos relativamente ao solo inicial e após cada corte	51
4.3.1. Características do solo inicial	51
4.3.2. Azoto amoniacal e nítrico no solo	51
4.3.3. Cálcio e Sódio no solo no fim do ensaio em vasos	53
4.3.4 pH, Condutividade Elétrica e Percentagem de Sódio Trocável no solo.....	54
4.5. Ensaio de incubação.....	58
4.5.1. Azoto amoniacal e nítrico	58
4.5.2. Mineralização líquida e mineralização líquida aparente	61
5. Síntese e Conclusões	64
6. Perspetivas futuras	66
7. Referências Bibliográficas	67
8. Anexos	X

Agradecimentos

Primeiramente tenho de agradecer a Deus, que me acompanhou em mais uma etapa da minha vida, dando-me força para ultrapassar as adversidades que foram surgindo e ânimo para olhar para as minhas debilidades como “mais uma pedra no caminho” que facilmente conseguia vencer.

Agradeço ao Santander Totta pelo Prémio de Incentivo ao Mestrado referente ao ano letivo 2016/2017.

À empresa Queijos Santiago agradeço a prontidão com que aceitaram colaborar neste estudo, com a doação do sorelho e a disponibilidade constante para as diferentes recolhas realizadas.

Agradeço ao professor David por toda a paciência, disponibilidade e amabilidade ao longo deste trabalho, por todos os conhecimentos que me transmitiu e que tão importantes foram para a realização desta dissertação. O meu muito obrigado também à professora Isabel Sousa que sempre esteve disponível para me esclarecer e encaminhar neste percurso.

A todos os que trabalham no Horto de Química Agrícola, nomeadamente à Joana Prado pelo apoio constante ao longo de todo o ensaio e ao senhor José Felício pela ajuda nos trabalhos mais pesados. Do laboratório 10 agradeço ao engenheiro Miguel Martins pelas palavras de motivação e esclarecimento nos procedimentos laboratoriais.

Aos meus pais, que são fundamentais na minha vida, que me apoiaram incessantemente ao longo destes 5 anos de curso e, agora, mais uma vez, nestes últimos meses em que estive a realizar a presente dissertação.

À minha irmã Beatriz que é sempre o meu porto de abrigo, agradeço, mais uma vez, todo o amor e disponibilidade para me ouvir e animar nos momentos mais difíceis.

À minha avó Clara, que mais do que uma avó é a minha melhor amiga, obrigada por tudo o que me ensinaste ao longo da vida através do teu fantástico exemplo, e ao longo do meu percurso académico agradeço-te as sempre presentes palavras de conforto. Aos meus avós maternos o meu agradecimento por todo o amor que sempre me deram.

Agradeço por fim a todos os meus amigos, em especial à Filipa Guerreiro, ao Francisco, à Vilma, à Carina, à Filipa Raquel e à Patrícia, por saber que posso contar sempre convosco nos melhores e nos piores momentos.

Resumo

É cada vez mais necessário conjugar a utilização de resíduos cuja valorização é nula ou pouco expressiva, de modo a acompanhar as exigências do mundo onde vivemos. Utilizar um subproduto da indústria dos laticínios, o soro (efluente de produção do queijo), considerado até então como resíduo, com o propósito de averiguar a possibilidade de o utilizar, como fonte gratuita de azoto, foi o enfoque desta dissertação. Este trabalho teve ainda como objetivo utilizar o soro no tratamento de chorume de bovinocultura através da sua acidificação, com a finalidade de reduzir as emissões de amoníaco deste corretivo orgânico quando aplicado ao solo.

Foram realizados 4 ensaios. Num primeiro ensaio, avaliou-se o poder acidificante do soro sobre o chorume, tendo sido acompanhada a variação do pH numa mistura de chorume com soro. Seguidamente, realizou-se um ensaio em vasos com plantas de azevém, com o objetivo de avaliar o valor agronómico do soro, com as seguintes modalidades: controlo, chorume, chorume + soro, soro + adubo, adubo mineral e 3 doses de soro (100%N, 200%N e 250%N ou seja, a quantidade de soro fornecida em cada modalidade corresponde à porção de azoto veiculada pelo adubo mineral, dupla porção relativamente ao adubo mineral e 2,5 vezes relativamente ao adubo mineral, respetivamente). Em paralelo ao ensaio em vasos, foi realizado em laboratório, um ensaio de incubação aeróbia com os seguintes tratamentos: controlo, chorume, soro + chorume, soro + adubo e soro 100%N. Finalmente, monitorizou-se, em estufa, as emissões de amoníaco aquando da aplicação ao solo de chorume bruto e chorume misturado com soro.

Conclui-se com este trabalho que o soro possui poder acidificante, podendo funcionar eficazmente na diminuição do pH do chorume e, conseqüentemente, na inibição total das suas emissões de amoníaco. Os resultados obtidos mostram ainda que da aplicação de quantidades moderadas de soro ao solo não resulta degradação da sua estrutura físico-química e os valores obtidos quanto à produção vegetal mostram não ser muito diferentes dos alcançados com a aplicação de chorume (127,80 g Matéria Verde e 147,40 g Matéria Verde, respetivamente). Pode ser então equacionada a utilização conjunta deste material com adubo mineral ou com chorume, ou aplicação isolada, ainda que, em doses ponderadas.

Palavras-chave: soro; chorume bovino; valor agronómico; acidificação; emissões de amoníaco

Abstract

It is increasingly necessary to combine the use of waste, the value of which is nil or low, in order to keep up with the demands of the world where we live. Using a by-product of the dairy industry, the second cheese whey (effluent from the production of Requeijão), considered until then as waste, with the purpose of investigating the possibility of using it as a free source of nitrogen was the focus of this dissertation. The other objective of this work was to use the second cheese whey in the treatment of bovine slurry by means of its acidification in order to reduce the ammonia emissions of this organic corrective when applied to the soil.

Four trials were performed. In a first one, the acidifying capacity of the cheese whey on slurry was evaluated, and the pH evolution was monitored in a mixture of slurry/second cheese whey. Then, a pot experiment was performed with ryegrass, with the objective of evaluating the agronomic value of second cheese whey, with the following treatments: control, slurry, slurry + second cheese whey, second cheese whey + fertilizer, mineral fertilizer and 3 doses of second cheese whey (100% N, 200% N and 250% N which corresponds to the amount of N conveyed by the mineral fertilizer, 2 times the mineral fertilizer and 2.5 times the mineral fertilizer, respectively). In parallel to the potting test, an laboratory incubation test was performed with the following treatments: control, slurry, second cheese whey + slurry, second cheese whey + fertilizer and 100% N second cheese whey. Finally, emissions of ammonia from soil amended with slurry and slurry mixed with second cheese whey were measured.

It can be concluded with this work that the second cheese whey has a significant acidifying power and can effectively decrease the pH of the slurry and also minimize ammonia emissions. The results show that the application of moderate amounts of second cheese whey to the soil does not result in degradation of the soil physical and chemical structure and the results regarding the vegetal production are not significantly different from those obtained with the application of slurry (127.80 g Green Matter and 147.40 g Green Mater, respectively). The joint use of cheese whey with mineral fertilizer or with slurry, or isolated application in reduced amounts might therefore be proposed as a potential valorization of this residue.

Key-words: second cheese whey, bovine slurry, agronomic value, acidification, ammonia emissions

Índice de Figuras

Figura 1 – Cadeia de produção de subprodutos (APA - Agência Portuguesa do Ambiente).....	5
Figura 2 - Diagrama do processo de fabrico típico do requeijão (adaptado de INETI, 2001).....	7
Figura 3 - Exemplos do impacto sobre os solos, água e ar relacionados com a produção animal (adaptado de Burton e Turner, 2003).....	11
Figura 4 – Plantas de azevém em vaso.....	15
Figura 5 – Dinâmica de azoto na atmosfera, planta e solo (adaptado de Martinelli, 2007).	19
Figura 6 – Aspeto físico sorelho.....	23
Figura 7 - Esquema do sistema de captura de amoníaco (adaptado de Sofia Macedo, 2013).....	25
Figura 8 – Sistema de captura de amoníaco montado no Horto de Química Agrícola para medição de emissões.....	26
Figura 9 - Aspeto geral do ensaio em vasos no Horto de Química Agrícola.....	27
Figura 10 – Semente de azevém pré-germinada imediatamente antes da sementeira.	28
Figura 11 – Análise laboratorial de azoto mineral no solo realizada em auto-analisador de fluxo segmentado.....	33
Figura 12 – Acompanhamento da evolução do pH da mistura Sorelho + Chorume....	38
Figura 13 – Evolução da taxa de emissão de NH ₃ no solo para os diferentes tratamentos considerados ao longo do período de monitorização.....	39
Figura 14 – Massa de MV (Matéria Verde) de azevém obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados e na totalidade do ensaio. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à P < 0,05.....	40

Figura 15 – Plantas de azevém (amostra de cada tratamento) momentos antes do 1.º, 2.º e 3.º cortes. No 1.º corte apenas surgem 3 vasos uma vez que não tinham sido aplicados tratamentos e por isso, como era expectável, não se observam diferenças entre	42
Figura 16 - Vaso após a 2.ª aplicação de cobertura na modalidade sorelho 250%N e respetivo resultado nas plantas já mortas antes do 3.º corte –	43
Figura 17 - Massa de MS (Matéria Seca) de azevém obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados e na totalidade do ensaio. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	43
Figura 18 – Medição (cm) e pesagem (g) das raízes de azevém no final do ensaio. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	46
Figura 19 – Fotografia de raízes de uma amostra de cada tratamento após corte final e término do ensaio.....	47
Figura 20 - Exportação de azoto por cada vaso na parte aérea (2.º e 3.º cortes), nas raízes e no total da planta. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	48
Figura 21 – Eficiência de utilização de azoto em cada vaso na parte aérea (2.º e 3.º cortes), nas raízes e no total da planta. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	49
Figura 22 – Valores de pH no solo após recolha de amostras de solo no 1.º, 2.º e 3.º cortes (fim do ensaio). Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	54
Figura 23 – Valores de Condutividade Elétrica no solo após recolha de amostras de solo no 1.º, 2.º e 3.º cortes (fim do ensaio). Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$...	52
Figura 24 – Percentagem de Sódio Trocável no solo, no final do ensaio em vasos, nos diferentes tratamentos ensaiados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$...	56

Figura 25 – Evolução da concentração de NH_4^+ no solo para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3).....58

Figura 26 – Variação da concentração de NO_3^- no solo para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3)..... 60

Figura 27 – Variação da mineralização líquida para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3)..... 61

Figura 28 – Variação da mineralização líquida aparente para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam a média do erro padrão dos tratamentos (n=3)..... 62

Índice de Quadros

Quadro 1 - Comparação das concentrações dos principais parâmetros das águas residuais industriais e domésticas (Costa, 2011).....	6
Quadro 2 - Quantidade de azoto veiculado através dos diferentes materiais aplicados a cada vaso no Ensaio em Vasos na 1. ^a aplicação de cobertura	30
Quadro 3 - Quantidade de azoto veiculado através dos diferentes materiais aplicados a cada vaso no Ensaio em Vasos na 2. ^a aplicação de cobertura	30
Quadro 4 - Quantidade de azoto veiculado por cada uma das modalidades no ensaio de incubação.....	32
Quadro 5 – Resultados das análises laboratoriais realizadas às diferentes amostras de sorelho recolhido na empresa Queijos Santiago.....	36
Quadro 6 – Resultados das análises laboratoriais realizadas ao chorume.....	37
Quadro 7 – Variação do pH da mistura Chorume + Sorelho.....	37
Quadro 8 - Concentração de azoto na matéria seca obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	45
Quadro 9 – Resultados das análises laboratoriais realizadas ao solo.....	51
Quadro 10 – Concentração de azoto amoniacal (NH_4^+) e nítrico (NO_3^-) no solo após cada corte em cada um dos tratamentos ensaiados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Linhas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	52
Quadro 11 – Concentrações de Cálcio e Sódio no solo, nos diferentes tratamentos, no final do ensaio em vasos. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Linhas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$	53

1. Introdução

A agricultura e pecuária dos últimos anos têm vindo a sofrer significativas alterações, como resultado da crescente expansão geográfica e exponencial crescimento populacional. As previsões da população mundial para os próximos anos levam os agricultores e produtores pecuários a produzir necessariamente mais, o que só é possível com recurso à intensificação e aposta num desenvolvimento mais sustentável.

Para se atingir um desenvolvimento sustentável é necessário promover a reutilização e conseqüente valorização de materiais considerados até então como resíduos e, simultaneamente, combater eventuais problemas que os relacionam com o compromisso ambiental. Estudar formas de aproveitamento dos resíduos, resultantes das mais diversas atividades industriais, de forma a aumentar o seu valor é cada vez mais importante para alcançar o objetivo de produzir mais e melhor. Este é também um dos pilares da economia circular que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais, bem como de energia.

O sorelho, subproduto de queijarias com reduzido aproveitamento, devido à sua composição química, pode conferir propriedades benéficas à cultura e/ou ao solo quando utilizado em adubação de cobertura. Este pode possuir interesse agronómico uma vez que poderá funcionar como fonte gratuita de azoto (que pode rondar 2 g L^{-1} de sorelho (Carvalho et al., 2013)) e outros macro e micronutrientes principais que podem compensar na conta de cultura, com a poupança na utilização dos habitualmente utilizados adubos de síntese química. No entanto o elevado teor de salinidade deste subproduto pode ser um fator limitante.

Com a intensificação da produção, umas das maiores conseqüências evidenciadas no setor pecuário centra-se no crescimento da produção de efluentes animais. Uma das principais conseqüências deste aumento será um aumento das emissões de amoníaco (NH_3), razão pela qual o estudo sobre tratamento de chorumes tem estado em foco nas últimas décadas (Fangueiro et al., 2014). A solução proposta, que parece ser mais eficaz, por permitir a redução das emissões de amoníaco no período de armazenamento e após a aplicação ao solo, tem sido a acidificação do chorume, com o aditivo mais utilizado - o ácido sulfúrico (Eriksen et al., 2008). Contudo a utilização deste ácido parece não ser totalmente consensual e novas soluções têm vindo a ser estudadas.

Para além do valor agronómico que pode estar associado ao sorelho, este subproduto tem valor acidificante (com pH entre 3 e 6), podendo funcionar como alternativa à tradicional acidificação de chorume com H_2SO_4 , em locais onde esse está abundantemente disponível (ou seja, perto das unidades industriais de queijo). Desta conjugação resultaria a valorização de um material que até então tem reduzido aproveitamento com o tratamento de chorume, encaminhando-o no sentido da sua reutilização e valorização.

Os objetivos desta investigação são:

- Procurar encontrar novas utilizações para um subproduto da indústria dos laticínios, o sorelho, que atualmente não é aproveitado e constitui um problema crescente para os produtores de queijo;
- Estudar a eficiência de utilização do sorelho no tratamento por acidificação de chorume de bovinicultura e consequente diminuição das emissões de NH_3 quando aplicado ao solo;
- Testar o efeito do sorelho como fertilizante orgânico num ensaio em vasos com azevém, valorizando as suas propriedades nutritivas;
- Avaliar o efeito da conhecida salinidade do sorelho sobre o desenvolvimento do azevém e, simultaneamente, o seu impacto nas propriedades do solo em diferentes doses;
- Analisar a disponibilidade de azoto no solo aquando da aplicação isolada de sorelho ou combinada com chorume e com adubo mineral num ensaio de incubação;

Para se atingirem os objetivos acima propostos, realizaram-se quatro ensaios:

- 1) Avaliação do poder acidificante do sorelho sobre o chorume, tendo sido acompanhada a variação do pH numa mistura de chorume com sorelho.
- 2) Ensaio em vasos com plantas de azevém italiano (*Lolium multiflorum*) com as seguintes modalidades (3 repetições cada):
 - i. Sorelho 100% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente à porção de azoto veiculada através do adubo mineral (4,99 g N);
 - ii. Sorelho 200% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente ao dobro porção de azoto veiculada através do adubo mineral (10 g N);
 - iii. Sorelho 250% N - quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente a 2,5 vezes a porção de azoto veiculada através do adubo mineral (12,5 g N);

- iv. Sorelho (50%N) + Adubo Mineral (50%N) – metade da quantidade de azoto fornecida pelo sorelho e a restante metade fornecida pelo adubo mineral (4,96 g N)
 - v. Adubo mineral – todo o azoto fornecido através do adubo mineral (4,92 g N);
 - vi. Chorume Bruto - todo o azoto fornecido através do chorume (5,01 g N);
 - vii. Chorume Bruto (150%N) + Sorelho (20%N) – parte da quantidade de azoto fornecida pelo chorume bruto e a restante fornecida pelo sorelho (4,21 g N);
 - i. Controlo (sem aplicação de qualquer nutriente)
- 3) Ensaio de incubação apenas com solo com as seguintes modalidades (3 repetições cada):
- ii. Sorelho 100% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente à porção de azoto veiculada através do adubo mineral (0,80 g N);
 - iii. Sorelho (50%N) + Adubo Mineral (50%N) – metade da quantidade de azoto fornecida pelo sorelho e a restante metade fornecida pelo adubo mineral (0,81 g N)
 - iv. Chorume Bruto - todo o azoto fornecido através do chorume (0,80 g N);
 - v. Chorume Bruto (50%N) + Sorelho (50%N) – metade da quantidade de azoto fornecida pelo chorume bruto e a restante metade fornecida pelo sorelho (0,80 g N);
 - vi. Controlo (sem aplicação de qualquer nutriente)
- 4) Estudo das emissões de amoníaco (NH₃) observadas aquando da aplicação ao solo de chorume bruto e de chorume misturado com sorelho;

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Subprodutos das indústrias agroalimentares

O termo sustentabilidade está cada vez mais presente no ambiente industrial. A definição de sustentabilidade descrita pela Comissão Brundtland, considera que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer as necessidades das gerações futuras (Brundtland, 1987). É por isso cada vez mais premente a preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade do planeta onde vivemos. Esta procura por um desenvolvimento sustentável que garanta a existência de recursos para o desenvolvimento de gerações futuras tem motivado a procura de materiais subaproveitados ou até desvalorizados (Bond and Morrison-Saunders, 2011) numa tentativa de lhes dar outros destinos que não o armazenamento em aterro e, desse modo, promover a economia circular.

Para se atingir um desenvolvimento sustentável é, portanto, necessário promover a reutilização e conseqüente valorização de materiais considerados até então como resíduos ou potencialmente poluentes, de modo a alcançar a exploração racional de recursos. Torna-se cada vez mais importante, estudar formas de aproveitamento dos resíduos resultantes das mais diversas atividades industriais, de forma a aumentar o valor desses produtos e contribuir para a transformação de resíduos em subprodutos industriais e conseqüentemente, em novas matérias-primas.

A par disso, o Regulamento Europeu (442/1975/EEC; 689/1991/EEC) exprime claramente, como é exemplificado na **Figura 1**, a diferença entre o conceito de resíduo e subproduto alimentares: resíduos alimentares correspondem a resíduos de elevada carga orgânica, geralmente obtidos durante a transformação de matérias-primas em produtos alimentares, enquanto subprodutos correspondem a uma designação que permite mostrar que “os resíduos alimentares” são substratos para recaptura de compostos com viabilidade e utilidade no desenvolvimento de novos produtos com valor de mercado.

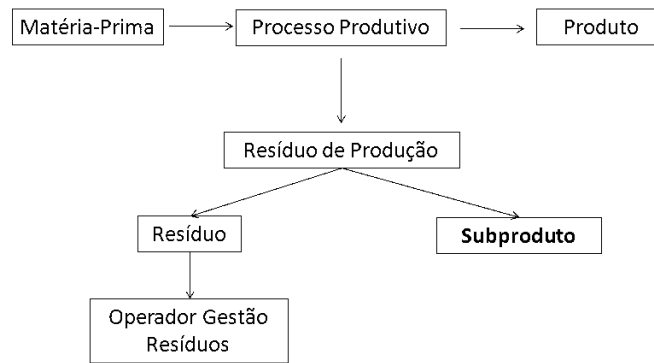


Figura 1 – Cadeia de produção de subprodutos (APA - Agência Portuguesa do Ambiente).

Em Portugal, no artigo 44.º - A do Regime Geral de Gestão de Resíduos (Diploma RGGR) encontram-se definidas as quatro condições necessárias, a verificar cumulativamente, para um resíduo ser considerado subproduto:

- Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objeto;
- A substância ou objeto poder ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;
- A produção da substância ou objeto ser parte integrante de um processo produtivo;
- A substância ou objeto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica.

Verificadas estas as condições, um resíduo de produção pode ser então considerado um subproduto, não se encontrando desta forma sujeito às regras relativas à gestão de resíduos.

Embora a Legislação Europeia pretenda, cada vez mais, alertar e incentivar para a recuperação, reciclagem e valorização de resíduos alimentares, com o objetivo de obter produtos secundários de elevado valor (como proteínas, óleos, açúcares, vitaminas, corantes ou antioxidantes), esses contêm um elevado teor de compostos orgânicos. A sua composição reflete-se portanto num elevado custo de tratamento junto das entidades produtoras. Como consequência, a sua atual valorização é mínima ou nula, sendo apenas uma pequena parte aproveitada para alimentação animal, compostagem ou aplicação direta ao solo na agricultura.

No entanto este setor tem despertado, nos últimos anos, o interesse crescente por parte de algumas áreas industriais, incluindo a farmacêutica e cosmética, uma vez que estes subprodutos podem ser adquiridos a um preço reduzido e, simultaneamente, podem ser ricos em compostos bioativos importantes para a promoção da saúde. Esta situação assume uma importância crucial sobretudo quando se trata de um setor com elevado peso na economia, como é o caso da indústria alimentar que detém o primeiro lugar nas indústrias transformadoras em Portugal e em muitos outros países (INE, 2014).

Neste sentido, a valorização de resíduos e subprodutos agroalimentares apresenta-se hoje em dia, não só como uma necessidade, mas como uma oportunidade para obtenção de novos produtos de valor acrescentado que poderão conduzir a um grande impacto na economia das indústrias e potenciar o desenvolvimento sustentável, bem como a prática da economia circular (Pintado e Teixeira, 2015; Federici et al., 2009).

2.1.1. Sorelho: produção e caracterização

Entre as indústrias agroalimentares, a indústria de laticínios é uma das principais responsáveis pela produção de efluentes industriais de origem alimentar na Europa e no mundo (Demirel et al., 2005).

As características destes efluentes variam significativamente em função dos produtos finais obtidos (leite, iogurte, queijo, manteiga, gelado, etc), do tipo de processo utilizado no seu fabrico e do tratamento efetuado (Gutiérrez et al., 1991; Prazeres et al., 2012), contudo são todos, de um modo geral, altamente poluentes, como se poderá verificar no **Quadro 1**, quando aplicados diretamente ao solo em grandes quantidades ou descartados nos esgotos comuns, devido à elevada carga de matéria orgânica presente (Macedo et al., 2017).

Quadro 1 - Comparação das concentrações dos principais parâmetros das águas residuais industriais e domésticas (Costa, 2011).

Parâmetro	Média Indústria Queijos (mg/L) ⁽²⁾	Águas residuais urbanas medianamente carregadas (mg/L) ⁽³⁾	Águas residuais urbanas muito carregadas (mg/L) ⁽³⁾
Sólidos Suspensos Totais	1100	720	1200
CQO	12000	500	1000
CBO5	5400	220	400
Óleos e Gorduras	380	100	150
Azoto	160	40	85
Fósforo	110	8	15

(2) INETI 2001

(3) Metcalf & Eddy 2003

Em Portugal, produz-se um tipo de queijo denominado requeijão, aproveitando a maior proporção proteína/gordura do soro de leite, subproduto da produção de queijo. O método tradicional de produção de requeijão baseia-se no aquecimento do soro de leite até à fervura, de forma a serem precipitadas pelo calor as proteínas que aí estavam dissolvidas, que são coadas e depois moldadas em moldes de plástico deixando-se escorrer e arrefecer (Pintado et al., 1996). No processo de produção deste requeijão, por agregação térmica das proteínas do soro original, liberta-se um segundo soro de leite denominado sorelho (Macedo et al., 2015), que surge do processo de moldagem, tal como está representado na **Figura 2**.

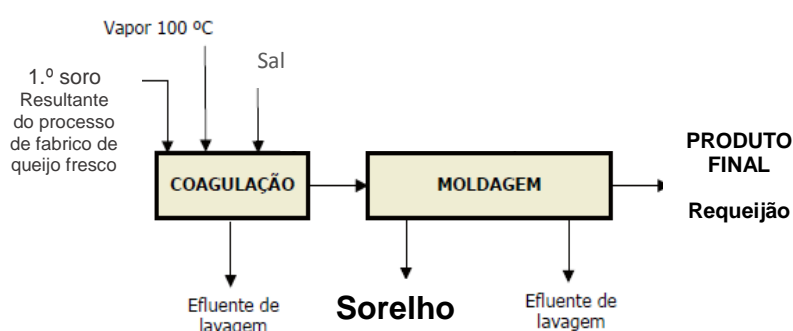


Figura 2 - Diagrama do processo de fabrico típico do requeijão (adaptado de INETI, 2001).

Para além do sorelho, a indústria queijeira gera outro tipo de efluentes (APA-Agência Portuguesa do Ambiente):

- soro (resultante do fabrico de queijo, em particular do processo de moldagem e prensagem);
- leitelho (que resulta da produção de manteiga por dessoramento quando se forma a emulsão de água em gordura)
- perdas ao longo do processo produtivo;
- produto residual que permanece nas tubagens, bombas, tanques, cubas e equipamento de processo;
- águas de lavagem, resultantes da limpeza de tanques no cais de receção do leite, das instalações, dos equipamentos e dos utensílios, etc.

São geradas grandes quantidades destes resíduos, por exemplo, na confeção de 1 kg de queijo são produzidos 9 L de solo e, por sua vez, na produção de 1 kg de requeijão, são gerados cerca de 18 L de sorelho (Macedo et al., 2017).

A esta realidade acresce ainda o facto de nos últimos anos se ter verificado um aumento da produção nacional de requeijão (tal como de todos os tipos de queijo) justificado pela necessidade da indústria dos lacticínios absorver o excesso de leite existente no mercado. Em 2017, segundo as Estatísticas Agrícolas do Instituto Nacional de Estatística, 9116 toneladas de queijo fresco (incluindo requeijão) foram produzidas correspondendo a um total de 116 996 toneladas de soro de leite produzido (INE, 2017).

O sorelho é um subproduto desproteínizado mas que ainda assim contém mais de 50% da matéria seca do soro original (Pereira et al., 2002; Macedo et al., 2015), sendo esta constituída predominantemente por lactose e minerais, também tem alguma matéria gorda residual e compostos azotados não precipitáveis termicamente (Pereira et al., 2002). Este efluente preserva um conteúdo de matéria orgânica significativamente elevado (valores de COD – Carbono Orgânico Dissolvido - até 80 g L^{-1}) e, simultaneamente, alta salinidade (Condutividade Elétrica na gama $7\text{--}23 \text{ mS cm}^{-1}$), como resultado da segunda adição de sal (como cloreto de cálcio) para intensificar o processo de precipitação da proteína na produção de requeijão. A lactose (aproximadamente 50 g L^{-1}) é o principal constituinte responsável pelos altos valores de Carbono Orgânico Dissolvido. Possui características ácidas, provenientes da fermentação da lactose, com valores de pH dentro da gama 3–6. Os valores de proteína rondam 0,8 g por litro de sorelho e o teor de Azoto Total 2 g por litro (Carvalho et al., 2013).

Tal como o soro de leite e restantes efluentes da indústria queijeira, o sorelho apresenta diversas consequências nefastas para o meio ambiente quando descarregado no meio recetor natural sem qualquer tipo de tratamento prévio, entre elas a poluição dos recursos hídricos devido à elevada concentração de sais que compõem estes materiais e a consequente contribuição para a intensificação do processo de eutrofização dos mesmos, bem como produção de odores desagradáveis no local onde são depositados (Costa et al., 2014; Farizoglu et al., 2007).

2.1.2 Tratamento e atual valorização do sorelho

Para além da perda de substâncias nutritivas, os elevados valores de CBO_5 (Carência Bioquímica de Oxigénio, determinada ao fim de 5 dias) e de CQO (Carência Química de Oxigénio) cerca de $10 \text{ g O}_2/\text{kg}$ e $70 \text{ g O}_2/\text{kg}$ respetivamente (Macedo et al., 2005), principalmente associados ao elevado teor em lactose, transformam o sorelho num, ainda maior, problema ambiental.

No entanto, devido à escassez de tecnologias adequadas e acessíveis para o seu tratamento, este subproduto tem vindo a ser desvalorizado e descartado há décadas pela maioria das unidades industriais (Portal Lacteo 2012). Sabe-se que o soro é utilizado na alimentação animal há milhares e milhares de anos (Mizubuti,1994). Contudo, atualmente, o único aproveitamento que lhe é dado, em algumas queijarias, é o fornecimento gratuito na alimentação animal, nomeadamente de suínos (Macedo et al., 2017). Segundo as estatísticas agrícolas, em 2009 e 2010 foram utilizadas, respetivamente, 4301 e 1883 toneladas de soro como matéria-prima pela indústria de alimentos compostos para animais (INE, 2012), de entre as quais a maioria é realmente soro uma vez que a generalidade das queijarias fabrica requeijão (ou seja, aproveita o soro de leite).

Com o intuito de lutar contra este problema ambiental e industrial e, ao mesmo tempo, aproveitar um resíduo com valor comercial, têm sido realizados inúmeros estudos sobre possíveis aplicações em novos produtos e desenvolvidas novas tecnologias de processamento. Uma das novas técnicas aplicadas na indústria dos lacticínios é a tecnologia de membranas (Macedo et al., 2015). Esta nova tecnologia, apesar de já estar a ser aplicada há muitos anos, tem vindo a ser alvo de vários estudos a fim de ser melhorada. Esta tecnologia trouxe então a possibilidade de novas aplicações do soro de leite, como é o caso da incorporação deste em bebidas lácteas como seja a mistura resultante da combinação de soro com sumos de frutos (Portal Lacteo 2014), bem como na produção de requeijão com teores reduzidos de gordura (MilkPoint.PT 2015).

O soro de leite fermentado tem sido muito estudado pelas suas propriedades antimicrobianas, podendo ser usado como detergente e desinfetante biológico (Santos et al., 2017) e está a ser atualmente estudada a sua incorporação em alimentos de cereais como fornecedor de bioactivos anti-cancerígenos (Macedo et al., 2018).

Alguns exemplos de tratamentos necessários realizar aos efluentes de queijarias, nomeadamente ao soro, de modo a poder libertá-los no meio recetor natural são exemplificados na **Figura 8.1 - Anexos**.

2.2. Utilização de chorume e problemas ambientais associados: emissões de NH₃

A fertilização azotada das culturas é habitualmente realizada através da aplicação de adubos de origem química. No entanto, há uma grande diversidade de materiais de natureza orgânica, alguns dos quais subprodutos de explorações agrícolas e agropecuárias, como estrumes e chorumes, compostos, resíduos das culturas, etc. que podem, e são habitualmente, usados como corretivos orgânicos do solo com o objetivo fundamental de melhorar as suas características físicas, químicas e/ou biológicas (Dias, Rebelo, and Silva 2004 - Código de Boas Práticas Agrícolas).

De entre os corretivos orgânicos mais utilizados destaca-se o chorume que resulta da mistura de fezes e urinas dos animais, bem como de águas de lavagem ou outras, contendo por vezes desperdícios da alimentação animal ou de camas e as escorrências provenientes das nitreiras e silos (*Portaria 631*, 2009). Do ponto de vista económico o aproveitamento dos chorumes permite uma menor aplicação de fertilizantes minerais (Bicudo, 1999) uma vez que para além da matéria orgânica, os chorumes têm a propriedade de veicular nutrientes, ou seja, elementos essenciais (entre os quais azoto) ao completo desenvolvimento do ciclo vegetativo das plantas.

O volume e composição química deste efluente depende, entre outros fatores, do estado reprodutivo do animal, sexo, idade, composição da ração, qualidade e volume de água ingeridos (Makara and Kowalski, 2018). Apesar da variável composição dos chorumes existe uma gama de valores que enquadra as possíveis concentrações de nutrientes no chorume bovino. A matéria seca presente nos chorumes pode variar entre 2 e 10%, o azoto total pode existir em concentrações dos 2,0 aos 7,0 kg m⁻³ de chorume, o azoto amoniacal varia entre 1,0 e 4,9 kg m⁻³ de chorume e o fósforo, habitualmente, entre 0,2 e 6,0 kg m⁻³ de chorume (Burton and Turner, 2003).

A utilização dos chorumes animais assume cada vez mais importância devido ao aumento considerável das quantidades de chorume animal produzidas. Este aumento deve-se à junção do crescimento da população mundial com o decréscimo da área disponível para a produção agrícola, que tem impulsionado a intensificação da produção de modo a responder à atual procura de alimentos (Ramya et al. 2013).

A dimensão e o nível de especialização influenciam o tipo de efluente produzido sendo que as explorações de menor dimensão produzem maioritariamente estrumes sólidos, enquanto as de grande dimensão produzem maioritariamente chorume. Como resultado

do mercado leiteiro dos últimos anos, em Portugal e um pouco por toda a Europa predominam atualmente as explorações de pecuárias intensivas de grande dimensão que produzem quase exclusivamente chorume. Sendo a bovinicultura leiteira, o principal responsável pela produção de resíduos orgânicos, este setor conduz a um excesso de produção de resíduos relativamente ao solo agrícola disponível para a sua aplicação (Saéz et al, 2017).

Considerando que em Portugal existem aproximadamente 1,6 milhões de efetivos bovinos, de entre os quais 239 000 são vacas leiteiras (INE, 2017) e que cada animal produz em média 23 m³ chorume/ano, entende-se a dimensão do problema relacionado com este corretivo orgânico (Anexo V da Portaria 259/2012 de 28 de agosto).

Tal como nas indústrias, nas explorações agrícolas, ao longo das últimas décadas, tem-se vindo a observar uma preocupação crescente para que seja praticada uma agricultura ambientalmente sustentável. A utilização de chorume pode ser uma opção para atingir esse objetivo.

Contudo é referido por diversos autores que a utilização de chorume como fertilizante orgânico pode originar vários problemas a nível ambiental como a poluição de águas superficiais e profundas, eutrofização, acidificação do solo, poluição atmosférica, aumento de emissões de gases com efeito de estufa, propagação de resíduos farmacêuticos ou microrganismos patogénicos no solo ou água e a nível local, odores desagradáveis. Alguns destes problemas encontram-se retratados na **Figura 3**.



Figura 3 - Exemplos do impacto sobre os solos, água e ar relacionados com a produção animal (adaptado de Burton e Turner, 2003).

O setor agrícola é responsável por cerca de 50% do total das emissões mundiais de NH_3 e até 90% na Europa (Carozzi et al., 2013). A emissão de NH_3 com origem na produção animal pode ser subdividida em perdas que ocorrem nas instalações pecuárias (alojamentos dos animais e armazenamento dos dejetos), perdas decorrentes da aplicação direta de chorumes aos solos e em perdas durante o pastoreio (Kai et al., 2008; Pereira, 2005).

Uma vez que o chorume é um produto com pH alcalino (valores de pH entre 7 e 8), e em que o azoto mineral se encontra essencialmente na forma de ião NH_4^+ , este é suscetível de se volatilizar devido à formação de NH_3 , o qual, pode contribuir para a poluição atmosférica (e até conduzir à formação de chuvas ácidas) (Santos, 2012). Esta situação torna-se ainda mais problemática uma vez que durante e após a aplicação do chorume no solo, mais de 50% do azoto aplicado pode ser perdido por volatilização, com cerca de 50% da emissão total ocorrendo nas primeiras 24 horas (Fangueiro et al., 2015).

Para além disso, Regueiro et al. 2016, refere também que o valor fertilizante do chorume decresce com o aumento das perdas de azoto o que pode prejudicar as produções e consequentemente implicar de forma negativa na economia das culturas

A quantidade de azoto volatilizada após a aplicação superficial do chorume ao solo é muito variável e depende de inúmeros fatores entre os quais as condições climatéricas e as características intrínsecas do solo, nomeadamente as suas condições de infiltração (Tasca et al., 2011).

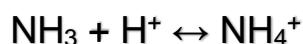
2.2.1 Tratamento de chorumes para redução de emissões de NH_3 : Acidificação

Apesar de ser uma ótima solução para promover a fertilidade do solo, a aplicação de chorume ao solo sem qualquer pré-tratamento constitui, como já foi descrito, uma problemática ambiental. Neste contexto o tratamento do chorume ou a utilização de técnicas de aplicação adaptadas como a injeção, torna-se uma alternativa para reduzir, entre outros, o risco de perdas de azoto para a atmosfera (Bernet and Béline, 2009).

O modo que parece ser mais eficiente para minimizar as emissões de amoníaco aquando da aplicação de chorume ao solo e durante a fase de armazenamento é através da diminuição do pH por adição de ácidos, o que pode, no entanto, afetar a dinâmica de N e C no solo (Fangueiro et al., 2013). Os ácidos fortes são os aditivos mais utilizados

comumente, nomeadamente o ácido sulfúrico e, ainda nos últimos anos tem vindo a ser estudado a utilização de sulfato de alumínio (Fangueiro et al., 2015b).

A acidificação do chorume apareceu há várias décadas como a solução mais lógica para reduzir as emissões de NH_3 e já é um método utilizado à escala real na Dinamarca e outros países do Norte da Europa (Eriksen et al., 2008). Isto deve-se ao facto de a acidificação favorecer a seguinte reação direta:



Quando as condições são favoráveis para a reação se deslocar no sentido direto as perdas por volatilização serão menores, pois quanto maior é a fração de amoníaco ionizado (NH_4^+) menores serão as perdas por volatilização. Simultaneamente, também se provou conseguir promover a desaceleração da degradação da matéria orgânica (Fangueiro et al., 2015a).

Com os muitos estudos já realizados, provou-se que o pH ideal, que se pretende atingir com a acidificação, varia entre 4,5 e 6,8 (Fangueiro et al., 2015b). A escolha do pH depende do tipo de chorume utilizado (sabe-se que, por exemplo chorume de bovinicultura tem maior poder tampão e por isso requer maior quantidade de aditivo adicionado para a redução do pH quando comparado com chorume suíno), do ácido utilizado e das condições edafo-climáticas (Fangueiro et al., 2015b).

Segundo Stevens et al., 1992, a acidificação do chorume bovino com ácido nítrico até um pH de 5,5 diminui a volatilização do NH_3 em 75% após a sua aplicação à superfície do solo, em comparação com a aplicação direta de chorume bruto não tratado.

Tem provado ser uma técnica bastante importante para garantir uma maior concentração de NH_4^+ disponível para as plantas e, simultaneamente, permitir uma aplicação não só de fundo como também em adubação de cobertura em certas culturas (Fangueiro et al., 2015b).

A acidificação de chorumes é então uma prática aconselhável pois reduz as emissões de NH_3 quer durante a aplicação ao solo quer durante o armazenamento do chorume podendo, no entanto, afetar as dinâmicas de N e C no solo (Fangueiro et al., 2013).

2.3. Pastagens e Forragens

Entende-se por pastagens e forragens um conjunto muito diversificado de culturas cuja produção de biomassa contribui grandemente para a alimentação animal, nomeadamente dos ruminantes. Apesar da crescente necessidade de incorporação de alimentos concentrados no regime alimentar animal, como resultado da também crescente necessidade de produção mundial de alimentos, os alimentos grosseiros, da qual fazem parte as pastagens e forragens, continuam a ter um importante papel no processo digestivo dos poligástricos e por isso continuam imprescindíveis para a sua dieta (Moreira, 2002).

Nos sistemas de produção animal, o objetivo principal das pastagens e forragens continua a ser o fornecimento de alimento, contudo adquirem cada vez mais outras funções como o estabelecimento de rotações de culturas, o sequestro de carbono, reduzindo a emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera ou o aproveitamento através do pastoreio direto permitindo a reciclagem de nutrientes (Freixial e Barros, 2012).

Segundo Moreira (2002), forragens ou culturas forrageiras são as culturas de plantas herbáceas, geralmente anuais, destinadas a serem colhidas pelo homem antes da maturação completa, para alimentação dos animais em verde, como é o caso da cultura utilizada neste trabalho, Azevém Italiano, ou após a sua conservação.

Com base na instalação de pastagens e forragens melhoradas é possível reduzir os custos de alimentação e aumentar a carga animal, potenciando desse modo a sua utilização. Um dos exemplos de melhoramento consiste na inserção de culturas forrageiras biodiversas e ricas em leguminosas, uma vez que estas apresentam diversas vantagens em relação às culturas forrageiras baseadas numa só ou num número reduzido de espécies/cultivares (Crespo, 2006).

2.3.1. Azevém Italiano (*Lolium multiflorum* Lam.)

O azevém italiano (*Lolium multiflorum* Lam.) é a gramínea forrageira com maior expressão no Entre Douro e Minho, beneficiando das condições naturais aqui existentes (Lopes et al., 2006). Tem grande aptidão forrageira, excelente qualidade e é muito apetecível para os animais (Hannaway et al., 1999). É uma cultura de fácil implantação e flexibilidade de exploração, com elevado potencial produtivo e que apresenta um crescimento muito rápido entre cortes.



Figura 4 – Planta de azevém em vaso.

Tal como as restantes culturas forrageiras, o azevém tem como principal objetivo satisfazer as necessidades alimentares dos animais, podendo seguir uma das seguintes modalidades:

- exclusivamente em verde;
- em verde e conservação: após vários cortes em verde, o último é destinado a fenação ou ensilagem;
- em conservação: fenação ou ensilagem, sendo que em nenhum dos casos se aconselha que o corte seja feito para além do espigamento.

Tradicionalmente é explorado como cultura intercalar do milho (com o grande objetivo de supressão de infestantes), estreme ou em misturas anuais. Destina-se à produção de forragem verde, em múltiplos cortes, em que o último é reservado normalmente para fenação e, mais recentemente, para ensilar. Esta gramínea pode ser de vários tipos, conforme a sua plóidia ($2n$ ou $4n$), o grau de alternatividade e a duração do ciclo vegetativo (perenidade) (Lopes et al., 2006).

2.3.2. Fertilização de Azevém Italiano e dinâmica do azoto na planta

Habitualmente faz-se uma fertilização orgânica em fundo à instalação, normalmente com chorume e, devido à forma de exploração do azevém, uma adubação química após cada corte (Lopes et al., 2006).

Nas condições habituais de solo e clima a que o azevém italiano está sujeito, o azoto é o único macronutriente para o qual é necessária uma aplicação regular, uma vez que apresenta elevadas necessidades deste nutriente, podendo perfazer 150 a 200 unidades/ha, sobretudo num ritmo de cortes intenso (Lopes et al., 2006). Para produzir uma tonelada de matéria seca, o azevém necessita dispor das seguintes quantidades de macronutrientes principais: azoto (N) - 20 a 30kg; fósforo (P_2O_5) - 6 a 10 kg; potássio (K_2O) - 25 a 35 kg (Lopes et al., 2006). Parte destas doses pode ser fornecida pela aplicação de chorume e/ou estrume, uma vez que o azevém é uma espécie capaz de absorver grandes quantidades de azoto veiculado por bio-sólidos e corretivos orgânicos (Hannaway et al., 1999).

O azoto é o macronutriente principal e na maioria dos casos o principal elemento que limita o crescimento e a produção vegetal. De todos os nutrientes minerais, o azoto é o que influencia mais substancialmente o crescimento das folhas e, conseqüentemente, a disponibilidade de hidratos de carbono para o crescimento vegetal, a taxa fotossintética por unidade de área da folha, bem como o número e tamanho de órgãos de armazenamento (Varenes, 2003).

As plantas absorvem azoto essencialmente pelas raízes, sob a forma de ião amónio (NH_4^+), ião nitrato (NO_3^-) e pequenas moléculas orgânicas. A sua absorção pelas folhas é menos importante, mas há culturas que respondem positivamente à adubação foliar efetuada pelos estomas e micróporos das folhas. De uma forma geral, as plantas absorvem predominantemente azoto sob a forma nítrica, uma vez que, em solos bem arejados e de pH próximo da neutralidade, esta forma de azoto ocorre em concentrações mais elevadas quando comparada com a forma orgânica (Boswell et al., 1985).

As plantas respondem, de modo geral, rapidamente ao azoto aplicado como fertilizante. Quando fornecido em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento vegetativo e a expansão do sistema radicular. Quando em deficiência, ocorre o amarelecimento das folhas e conseqüente senescência precoce das mesmas acompanhada por redução ou paragem de crescimento. Quando em excesso, conduz a desenvolvimentos vegetativos luxuriantes que se traduzem por desequilíbrios nutritivos,

devido à facilidade com que as plantas absorvem azoto para além das suas necessidades metabólicas, com consequências negativas na produção final.

Também o fósforo e potássio são macronutrientes principais para a planta, absorvidos sobre a forma de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (iões hidrogenofosfato) e K^+ , respetivamente.

As consequências da deficiência de fósforo para a planta são as seguintes: crescimento afetado e desenvolvimento atrasado; menor teor de glúcidos de reserva; menor razão parte aérea/raiz; remobilização do fósforo das folhas maduras para regiões mais jovens; folhas mais escuras podendo haver acumulação de antocianinas (Varenes, 2003).

A seguir ao azoto e ao fósforo, o potássio será o terceiro elemento que em deficiência mais poderá limitar o crescimento vegetal (uma vez que tem um papel importante como regulador de funções fisiológicas como a fotossíntese): tendo consequências diretas na qualidade das flores e frutos, nos órgãos de propagação vegetativa e no fortalecimento dos caules. Os sintomas da sua carência refletem-se em plantas mais suscetíveis à falta de água, geada e doenças; clorose marginal que mais tarde necrosa. Contrariamente o excesso de potássio induz deficiências de outros nutrientes, em especial do magnésio e cálcio e conduz a problemas de salinidade.

2.4. Azoto e outros nutrientes no solo

As recomendações de fertilização para cada cultura são calculadas com base nas necessidades das plantas em função da produção esperada, da disponibilidade natural do solo em fornecer nutrientes e da eficiência com que as plantas utilizam os nutrientes dos fertilizantes aplicados para suplementar as disponibilidades, normalmente limitadas em alguns nutrientes, dos solos. Desta forma, para estabelecer corretamente as recomendações da fertilização azotada é necessário haver um conhecimento prévio das transformações do azoto que ocorrem no solo (Varenes, 2003).

De um modo geral, a disponibilidade de azoto para as plantas depende das entradas e saídas dos elementos no solo e das transformações que aí ocorrem. As principais entradas de azoto no solo provêm da fixação biológica do azoto atmosférico, da deposição a partir da atmosfera, da aplicação de fertilizantes e resíduos orgânicos e água de rega. As principais saídas resultam da exportação do azoto pelas culturas, de perdas

por volatilização de amoníaco, e de perdas por lixiviação, imobilização pelos organismos do solo, adsorção no complexo de troca, fixação nos minerais argilosos, nitrificação, escoamento superficial e erosão (Varenes, 2003).

Nos solos, o azoto encontra-se disponível sob a forma mineral e orgânica. Mais de 95% do azoto está presente sob formas orgânicas, e apenas 1 a 3% deste azoto é mineralizado a cada ano. As formas minerais de azoto presentes no solo são constituídas por moléculas gasosas como azoto elementar (N_2), óxido nitroso (N_2O), uma vasta gama de óxidos tais como o óxido nítrico ou monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2); bem como pequenas quantidades de amoníaco (NH_3) e iões (amónia (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) e nitritos (NO_2^-)) (Santos, 2001).

Nos resíduos orgânicos, que são aplicados aos solos com valor fertilizante, o azoto apresenta-se, essencialmente, sob a forma orgânica, como constituinte das proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos e, nos resíduos provenientes de explorações pecuárias, como é o caso do chorume de bovino, sob formas amoniacais constituídas pelo ião amónia (NH_4^+), o amoníaco (NH_3) e a ureia [$CO(NH_2)_2$] (Gonçalves, 2005).

As transformações que ocorrem no solo envolvem fatores biológicos, químicos e físicos, por vezes difíceis de descrever e controlar. Em condições aeróbias, como as que, geralmente ocorrem no solo, o azoto orgânico é submetido a um processo de mineralização, de modo a ser posteriormente absorvido pelas plantas. A mineralização do azoto é um dos processos mais importantes de transformações biológicas que ocorrem no solo, uma vez que, influencia a disponibilidade de azoto, tanto a fração que pode ser utilizada pelas plantas como aquela que é perdida através dos vários processos (Ferreira, 2011) A mineralização corresponde à conversão das formas orgânicas do azoto (proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos) em formas minerais, nomeadamente NH_4^+ (Santos, 2001). Paralelamente à mineralização do azoto, ocorre um processo de imobilização, que representa a reação inversa, isto é, o azoto é imobilizado, ocorrendo a transformação das formas minerais azotadas em componentes orgânicos, passando da forma nítrica a orgânica (Pereira, 2005).

É o balanço entre a mineralização e a imobilização (processos que ocorrem em simultâneo) que vai determinar as quantidades de azoto inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) que vai estar disponível para as plantas em determinado momento (Pereira, 2005).

Posteriormente à mineralização e imobilização segue-se, normalmente, um processo autotrófico aeróbico e microbiano designado nitrificação, onde o azoto amoniacal pode

ser convertido em NO_3^- através de um processo realizado por bactérias nitrificantes, esse processo encontra-se representado na **Figura 5**. Essas bactérias desempenham as seguintes ações: os gêneros *Nitrosomonas* oxidam NH_4^+ a NO_2^- e os gêneros *Nitrobacter* NO_2^- a NO_3^- (Cordovil, 2004).

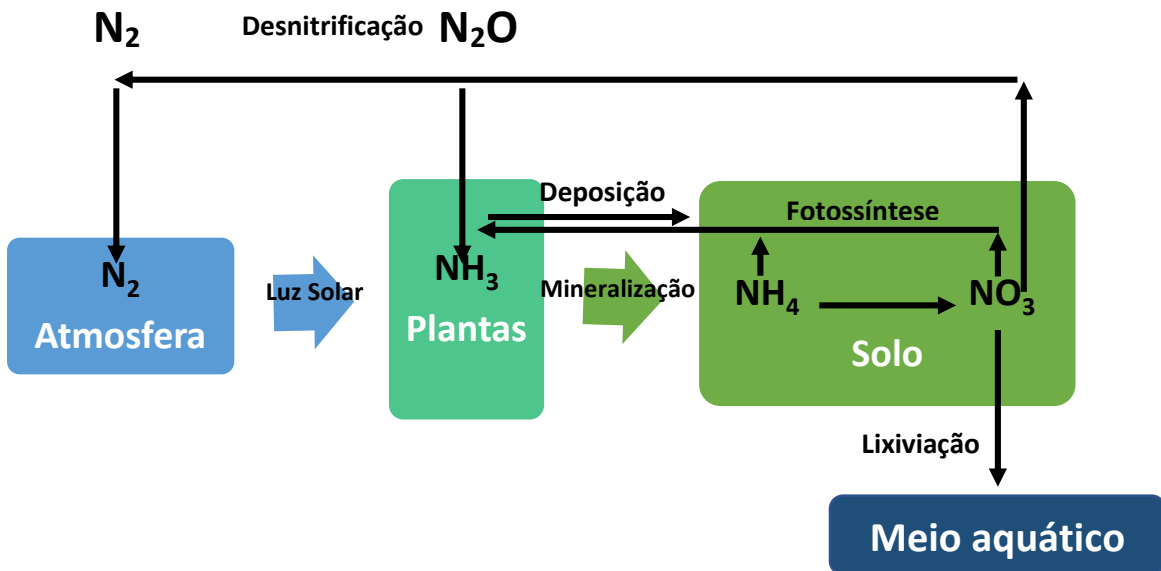


Figura 5 – Dinâmica de azoto na atmosfera, planta e solo (adaptado de Martinelli, 2007).

A estimativa do azoto orgânico do solo que pode ser transformado em azoto mineral, em determinado período de tempo, é uma medida útil da capacidade de fornecimento de azoto para plantas. Esta pode ser usada tanto para estimar a capacidade de fornecimento de azoto do próprio solo quanto para avaliar o potencial de liberação de azoto mineral de adubos orgânicos, como é o caso do chorume. Nos estudos de mineralização de azoto é comum a extrapolação dos resultados obtidos em laboratório nos ensaios de incubação para valores que seriam obtidos em campo, em kg ha^{-1} de N em determinado período de incubação (Kuhnen, 2013).

De modo a estudar a mineralização do azoto orgânico no solo, Fanguiero et al. (2010a) descreve uma metodologia baseada num ensaio de incubação aeróbia, que permite comparar e avaliar diferentes modalidades (que será o objetivo desta dissertação). Uma das críticas aos métodos de incubação em laboratório para a determinação da taxa de mineralização de N está associada à manutenção da temperatura e humidade constantes e próximas do ótimo durante todo o período de avaliação, o que não ocorre na verdade em condições de campo. Adams e Attiwill, (1986) compararam a mineralização da matéria orgânica do solo pelos métodos de laboratório e de campo e verificaram que as taxas de

mineralização em campo foram inferiores às do laboratório. Deste modo, a extrapolação dos resultados de mineralização do N em laboratório para campo pode não ser desejável, pois os processos podem ser afetados por um grande número de fatores que não podem ser controlados.

Paralelamente aos ensaios de incubação, existem diversos modelos matemáticos que visam obter a fração do N orgânico potencialmente mineralizável e a taxa com que este N é mineralizado. Dentre os modelos matemáticos propostos, o mais utilizado é o descrito por Stanford e Smith (1972). Estes autores apresentaram um modelo de cinética de primeira ordem, considerando apenas um compartimento de N mineralizável em ensaios de incubação aeróbia de longa duração, que ocorre em função do tempo. O modelo pressupõe que a taxa de mineralização do N orgânico é proporcional ao substrato mineralizável do solo.

2.5. Impacto da salinidade no crescimento das plantas e na estrutura dos solos

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization), (1997) um solo salino define-se como aquele em que a condutividade elétrica excede 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (aproximadamente 40 mM NaCl) a 25°C e um solo sódico como aquele que apresenta uma Percentagem de Sódio Trocável (PST) de 15%. O rendimento da maioria das culturas a qualquer destes níveis é bastante reduzido e há, inclusive, culturas que por serem muito sensíveis à salinidade exibem rendimentos bastante alterados para valores ainda mais baixos de condutividade elétrica (Munns, 2005).

A salinidade não diminui apenas a produção agrícola da maioria das culturas, afeta também as propriedades físico-químicas dos solos e o balanço ecológico da área agrícola. Os impactos da salinidade incluem baixa produtividade, diminuição do retorno económico e erosão dos solos (Hu and Schmidhalter, 2002). Para além destas consequências sabe-se também que a elevada concentração de sais nos solos tem impacto negativo na atividade microbiana dos mesmos e por isso compromete alguns processos que neles ocorrem (Rath and Rousk, 2015).

Os efeitos da salinidade são resultado de interações complexas entre processos morfológicos, físicos e bioquímicos que afetam todos os estágios de desenvolvimento das plantas (germinação, crescimento vegetativo e desenvolvimento reprodutivo) e absorção de água e nutrientes (Akbarimoghaddam et al., 2011). O desenvolvimento reprodutivo é

fortemente afetado pela salinidade uma vez que aumenta a morte celular programada em alguns tipos de tecido, o aborto do óvulo e a senescência de embriões fertilizados.

Os íons Na^+ e Cl^- são os que mais contribuem para os problemas de salinidade dos solos. Ambos são conhecidos pelas suas propriedades tóxicas para as plantas e, de modo particular, o Na^+ conduz, também, à deterioração da estrutura física dos solos (Hasegawa et al., 2000). A acumulação excessiva de sódio na parede celular conduz rapidamente ao stress osmótico e à morte celular (Munns, 2002).

A salinidade dos solos está diretamente relacionada com a toxicidade iónica, *stress* osmótico, deficiências nutritivas (N, Ca, K, P, Fe e Zn) e *stress* oxidativo nas plantas que consequentemente limita a sua absorção de água do solo (sintomas idênticos ocorrem também na ausência de salinidade). Outro fator relevante prende-se no facto da salinidade reduzir o aporte de fósforo à planta uma vez que o ião fosfato precipita com a presença o ião Ca (Bano and Fatima, 2009). Para além disso afeta negativamente a fotossíntese devido à redução da área foliar, do teor de clorofila e da condutância estomática (Netondo et al., 2004).

A salinização é um dos processos de degradação do solo que mais se tem vindo a acentuar na Europa, nomeadamente nos países do sul. A acumulação de sais no solo deve-se à existência de uma fonte de sais e à insuficiência de precipitação e/ou de drenagem que permitam a sua lixiviação.

Algumas das causas são naturais (salinização primária) e outras resultam de processos induzidos pelo homem (salinização secundária). As causas mais comuns de salinização primária são a presença de aquíferos de origem marinha, a ação direta das marés nas regiões costeiras e o fluxo capilar ascendente de águas freáticas e subterrâneas salinas. As causas mais comuns de salinização induzida pelo homem são o uso de solos impróprios ou mal adaptados para a prática do regadio (solos com baixa permeabilidade e sem sistemas de drenagem), a rega com águas de má qualidade (ricas em sais solúveis), a má condução da rega (dotações de rega inadequadas e/ou distribuição irregular da água), o uso desmesurado de fertilizantes ou corretivos, particularmente em condições de limitada lixiviação, e o uso de águas residuais ou produtos salinos de origem industrial. (Ramos, 2017).

3. Material e Métodos

3.1 Materiais utilizados no ensaio

3.1.1 Caracterização do solo

Nos diversos ensaios realizados foi utilizado um solo arenoso classificado como Arenosol háplico (distrófico) (WRB) proveniente de uma exploração agrícola localizada em Setúbal. Recolheu-se solo da camada arável numa parcela não fertilizada há mais de 20 anos. Depois da recolha do solo, procedeu-se à preparação do solo para futuras análises, através de uma secagem ao ar realizada no Horto do Instituto Superior de Agronomia. Após secagem, procedeu-se à crivagem da amostra com um crivo de 2mm para separar a terra fina dos elementos grosseiros.

A determinação do pH do solo foi efetuada recorrendo à utilização do potenciómetro numa solução em água (razão 1:2,5 (p/v)). A condutividade elétrica foi determinada com um condutivímetro também numa solução em água (razão 1:2 (p/v)) (Póvoas e Barral, 1992).

A matéria orgânica foi estimada a partir da percentagem de carbono orgânico determinado por oxidação por via seca em analisador de carbono (Tinsley, 1950).

A determinação do azoto total existente no solo foi baseada no método Kjeldahl (Horneck e Miller 1998). A extração do azoto nítrico e amoniacal do solo foi efetuada com cloreto de potássio 2M numa razão 1:5. O doseamento foi efetuado por espectrofotometria de absorção molecular num auto analisador de fluxo segmentado (Mulvaney, 1996). O azoto nítrico foi determinado utilizando o método da sulfanilamida após redução dos nitratos em coluna de cádmio e o azoto amoniacal foi determinado pelo método de Berthelot em auto-analisador de fluxo segmentado.

Os restantes nutrientes determinados no solo (P, K, Ca, Mg, Na, Fe e Cu), foram quantificados no extrato obtido após calcinação da amostra a 550°C (Marti & Munoz, 1957). O fósforo e potássio disponíveis foram determinados com a utilização de uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,7 (Egner et. al. 1960). Para a extração dos micronutrientes extraíveis Na, Ca, Cu e Fe utilizou-se o método de Lakanen and Ervio (1971). No extrato assim obtido quantificou-se o fósforo por espectrofotometria de absorção molecular, o potássio por fotometria de emissão de chama e os restantes elementos por espectrofotometria de absorção atómica.

3.1.2 Caracterização do sorelho

Foram efetuadas 3 recolhas de sorelho na empresa Queijos Santiago, com sede em Montemuro, nos dias 26/02/18, 23/04/18 e 17/05/18. Aquando da receção e antes da utilização, o material foi conservado a 4°C.

A determinação do pH e da Condutividade Elétrica do sorelho foi efetuada recorrendo à utilização de um potenciómetro e condutivímetro, respetivamente. A medição foi efetuada diretamente após homogeneização do material.

O teor de matéria orgânica no sorelho foi determinado pelo método de calcinação à temperatura de 500°C durante 6 horas.

O azoto amoniacal foi obtido pelo Método Kjeldahl, assim como o azoto total sendo que para a determinação do azoto total, o sorelho foi primeiramente digerido com H₂SO₄.

Relativamente à determinação do K, Na e Ca procedeu-se à digestão das cinzas obtidas por calcinação com HCl 3M e leitura a partir de espectrofotómetro de absorção atómica (Gonçalves, 1983).

Fisicamente, o sorelho apresenta coloração esbranquiçada e são visíveis alguns sólidos suspensos como é observável na **Figura 6**.



Figura 6 – Aspeto físico sorelho.

O sorelho utilizado nos ensaios apresentados corresponde ao da última recolha (17 de maio de 2018).

3.1.3 Chorume

a) Caracterização do chorume

O chorume utilizado nos ensaios é proveniente de uma exploração pecuária de bovinos leiteiros localizada na região de Setúbal.

A matéria orgânica foi determinada por via seca segundo o método descrito por Figueiro, et al., 2012a.

A determinação do pH foi efetuada numa solução em água (razão 1:2,5 (p/v)) recorrendo ao potenciómetro. A condutividade elétrica foi medida numa solução em água (razão 1:2 (p/v)) com recurso a um condutivímetro (Póvoas e Barral, 1992).

O azoto total existente no chorume foi obtido com base no método Kjeldahl (Horneck e Miller, 1998). A extração do azoto mineral nos chorumes foi efetuada com cloreto de potássio 2M numa razão 1:10. O azoto nítrico foi determinado utilizando o método da sulfanilamida após redução dos nitratos em coluna de cádmio e o azoto amoniacal foi determinado pelo método de Berthelot em auto-analisador de fluxo segmentado.

Os nutrientes (P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn e Cu) foram quantificados no extrato obtido após calcinação da amostra a 550 °C, seguida de solubilização dos sólidos não voláteis remanescentes com HCl 3M (Marti & Munoz, 1957). No extrato assim obtido quantificou-se o fósforo por espectrofotometria de absorção molecular e os restantes elementos por espectrofotometria de absorção atómica.

b) Tratamento de chorume: acidificação com sorelho

Antes de se iniciar qualquer ensaio, procedeu-se à acidificação do chorume com recurso ao sorelho de modo a avaliar a viabilidade e aplicabilidade deste estudo.

Testaram-se modalidades com diversas quantidades de sorelho adicionadas a 500mL de chorume nas seguintes proporções: 5:1; 3,3:1; 2,5:1; 2:1. Procedeu-se à mistura dos materiais durante os 3 dias anteriores à sua aplicação ao solo, a temperatura ambiente e monitorizou-se a variação de pH com recurso a um potenciómetro após homogeneização da mistura.

Outra monitorização foi efetuada para a proporção 2:1, durante 15 dias, de modo a avaliar a prevalência da diminuição do pH do chorume quando acidificado com sorelho, na mesma proporção de chorume para sorelho.

c) Tratamento de chorume com sorelho: impacto no pH do chorume e na volatilização de amoníaco após aplicação ao solo

Após verificar a diminuição do pH do chorume até a um valor inferior a 5,5 com recurso à utilização do sorelho, realizou-se um ensaio com o objetivo de medir as emissões de amoníaco nos tratamentos seguintes, ensaiados em triplicado: 1) Chorume não tratado; 2) Chorume misturado com sorelho e a testemunha. Montou-se um sistema de captura de ar com posterior sucção e fixação de amoníaco numa solução de 200mL de ácido orto-fosfórico 0,01M, no Horto de Química Agrícola do Instituto Superior de Agronomia, conforme as **Figuras 8 e 9**. Foram utilizados vasos que continham 2 kg de solo.

As medições foram efetuadas no período de 7 dias após aplicação de cobertura, entre os dias 18 e 25 de julho de 2018. Durante os primeiros 2 dias foram realizadas três medições e nos restantes dias apenas duas medições diárias (uma vez que se espera que, à partida, as emissões de amoníaco sejam superiores nas primeiras 24 horas (Fangueiro et al. 2015a)). Findo o período de cada medição (3-4 horas) foi retirada uma amostra da solução de 200mL e substituída a solução ácida em que o amoníaco havia sido fixado por nova solução.

A leitura dos valores de NH_4^+ foi realizada em laboratório, com recurso a um auto-analisador de fluxo segmentado.

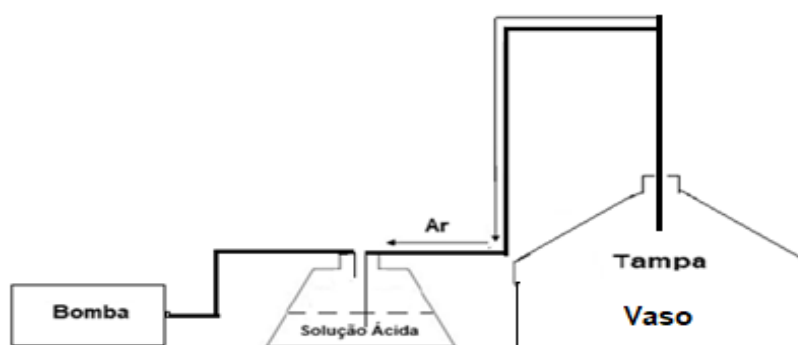


Figura 7- Esquema do sistema de captura de amoníaco (adaptado de Macedo, 2013).



Figura 8 – Sistema de captura de amoníaco montado no Horto de Química Agrícola para medição de emissões.

Com a utilização de um caudalímetro foi medido o caudal de ar que circulava em cada vaso. Depois dessa observação todos os caudais foram posteriormente corrigidos para um valor de $1,68 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

O fluxo expresso em $\text{mg N}/\text{min}/\text{vaso}$ foi calculado com base na duração em minutos de cada intervalo de medição (ou seja, o período de tempo entre cada substituição de solução de ácido ortofosfórico), da concentração de NH_4^+ presente na solução (mg/L) segundo a **Equação 1**:

$$\text{Fluxo (mg N/min/vaso)} = \frac{[\text{NH}_4^+] \text{ solução (mg/L)} \times \text{Volume de solução (L)}}{\text{Intervalo de medição (min)}} \quad (1)$$

3.2 Instalação e Condução do Ensaio em Vasos com Azevém

O ensaio decorreu no Horto de Química Agrícola do Instituto Superior de Agronomia, no período entre o dia 26 de abril e 9 de julho de 2018.

Os vasos utilizados têm fundo duplo, 23,5 cm de altura e 29,8 cm de diâmetro. Estipulou-se que cada vaso conteria 10 kg de terra.

Foi realizada à instalação uma adubação de fundo com 2,5g de sulfato de amónio (granulometria 20,5%) e 1g de cloreto de potássio (granulometria 60%), sendo a adubação focada na componente azotada com o objetivo de fornecer a cada vaso 0,5g

de azoto (uma vez que, na cultura do azevém, este é o macronutriente que requer maior atenção no que respeita à fertilização (Lopes et al., 2006)).

Durante o ensaio, o solo encontrava-se a 60% da Capacidade Máxima de Retenção em água. De modo a manter todos os vasos nas mesmas condições hídricas e a assegurar que tinham sempre a quantidade de água que se calculou ser necessária, foram pesados 4 vasos diariamente de forma aleatória e, com recurso a uma média ponderada, extrapolou-se a necessidade em água para todos os vasos. Semanalmente realizou-se a pesagem de todos os vasos e o respetivo acerto em água.



Figura 9 - Aspeto geral do ensaio em vasos no Horto de Química Agrícola.

3.2.1. Pré-germinação e sementeira

Foi realizada uma pré-germinação, onde as sementes de azevém permaneceram durante 2 dias em caixas à temperatura ambiente, permitindo que as sementes adquirissem raiz suficiente para subsistir quando colocadas no solo.



Figura 10 – Semente de azevém pré-germinada imediatamente antes da sementeira.

Após esse período de pré-germinação, foram distribuídas de forma homogênea em cada vaso 10 sementes pré-germinadas, sendo que passados 8 dias se acertou este número para 8 plantas por vaso. A sementeira foi realizada a 2 de maio de 2018.

3.2.2. Adubação de Cobertura

É de salientar que o ensaio em vasos com plantas de azevém só se inicia após a primeira adubação de cobertura, ou seja, após o 1.º corte, uma vez que antes deste não existiam tratamentos diferenciados, já que, como referido anteriormente, foi aplicado a cada vaso a mesma adubação de fundo.

Foi realizada uma adubação de cobertura após cada corte, com o objetivo de restituir os níveis de azoto no solo e, conseqüentemente, não limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas de azevém.

Ensaïaram-se em triplicado as seguintes modalidades:

- i. Sorelho 100% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente à quantidade de azoto veiculada através do adubo mineral;
- ii. Sorelho 200% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente ao dobro quantidade de azoto veiculada através do adubo mineral;
- iii. Sorelho 250% N - quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente a 2,5 vezes da quantidade de azoto veiculada através do adubo mineral;
- iv. Sorelho (50%N) + Adubo Mineral (50%N) – metade da quantidade de azoto fornecida pelo sorelho e a restante metade fornecida pelo adubo mineral
- v. Adubo mineral – todo o azoto fornecido através do adubo mineral;
- vi. Chorume Bruto - todo o azoto fornecido através do adubo mineral;
- vii. Chorume Bruto (150%N) + Sorelho (20%N) – parte da quantidade de azoto fornecida pelo chorume bruto e a restante fornecida pelo sorelho;
- viii. Controlo (sem aplicação de nutriente)

Como se sabe pela bibliografia existente que o chorume bruto não tratado, quando aplicado ao solo, volatiliza uma quantidade de amoníaco muito superior à do chorume acidificado decidiu-se realizar as duas adubações de cobertura de forma diferenciada nas modalidades que contêm chorume. A aplicação de chorume tratado com sorelho foi realizada apenas na 1.^a aplicação de cobertura, sendo aplicada dose dupla de azoto (veiculado em apenas nesse momento). No caso do tratamento em que foi aplicado ao solo chorume bruto não tratado, a aplicação foi fracionada, sendo aplicada a mesma quantidade de azoto em ambas as coberturas.

Nas modalidades Sorelho 100%N, 200%N e 250%N foram aplicados 311,3 mL, 622,7 mL e 778,3 mL, respetivamente. No caso do chorume, o azoto foi veiculado com a adição ao solo de 102,4 mL desse efluente. Na modalidade em que foi aplicado chorume e sorelho, na primeira adubação de cobertura, foram adicionados ao solo 155,6 mL de chorume e 49,8 mL de sorelho.

A quantidade de azoto fornecida na 1.^a e 2.^a aplicação de cobertura encontra-se descrita nas **Quadros 2 e 3**.

Quadro 2 - Quantidade de azoto veiculado através dos diferentes materiais aplicados a cada vaso no Ensaio em Vasos na 1.ª aplicação de cobertura.

MODALIDADES	N veiculado através do sorelho (mg)	N veiculado pelo chorume (mg)	N veiculado pelo adubo (mg)	N total adicionado (mg)
Sorelho 100%	249,97	0	0	249,97
Sorelho 200%	500,03	0	0	500,03
Sorelho 250%	624,97	0	0	624,97
Sorelho (50%N) + Adubo (50%N)	125,03	0	123	248,03
N mineral	0	0	246	246
Controlo	0	0	0	0
Chorume	0	250,06	0	250,06
Chorume (150%N) + Sorelho (20%N)	41,11	380,22	0	421,33

Quadro 3 - Quantidade de azoto veiculado através dos diferentes materiais aplicados a cada vaso no Ensaio em Vasos na 2.ª aplicação de cobertura.

MODALIDADES	N veiculado através do sorelho (mg)	N veiculado pelo chorume (mg)	N veiculado pelo adubo (mg)	N total adicionado (mg)
Sorelho 100%	249,97	0	0	249,97
Sorelho 200%	500,03	0	0	500,03
Sorelho 250%	624,97	0	0	624,97
Sorelho + Adubo	125,03	0	123	248,03
N mineral	0	0	246	246
Controlo	0	0	0	0
Chorume	0	250,06	0	250,06
Chorume (150%N) + Sorelho (20%N)	0	0	0	0

3.2.3 Colheita e pós-colheita

3.2.3.1 Recolha e processamento do material vegetal

Realizaram-se 3 cortes, pelo que quando as plantas atingiram a altura considerada recomendável, todas foram cortadas de modo uniforme de modo a restar uma altura aproximada de 3-4 cm.

O primeiro corte ocorreu aproximadamente um mês depois da sementeira, no dia 4 de junho de 2018, o segundo e terceiro cortes ocorreram espaçados de duas semanas no dia 22 de junho e 9 de julho de 2018, respetivamente.

Em todos os cortes foi efetuado o mesmo procedimento: pesagem do material em verde, colocação na estufa a 65°C durante 3 dias, pesagem do material seco e moenda. Depois de moído o material foi levado para o laboratório e determinadas as concentrações de azoto na matéria seca.

A determinação de azoto total do material vegetal foi realizada através de extração segundo o Método Kjeldhal e respetiva leitura a partir do auto-analisador de fluxo segmentado (Horneck e Miller 1998).

3.2.3.2 Recolha e processamento de raízes

No final do ensaio, separaram-se de modo cuidadoso as raízes do solo tentando preservar a sua estrutura física. Posteriormente as mesmas foram lavadas e colocadas em estufa a 65°C durante 3 dias.

Depois de secas foram efetuadas medições do seu comprimento, as raízes foram também pesadas. Depois de moído o material foi levado para o laboratório e determinadas as concentrações de azoto na matéria seca. A determinação de azoto total foi realizada através de extração segundo o Método Kjeldhal e respetiva leitura a partir do auto-analisador de fluxo segmentado (Horneck e Miller 1998).

3.2.3.3 Amostragem de solo

Paralelamente ao tratamento do material vegetal, foram retiradas amostras de solo de todos os vasos ensaiados, após cada corte. Determinou-se posteriormente o pH e Condutividade Elétrica pelo método do potenciómetro (razão 1:2,5 (p/v)) e do condutímetro (razão 1:2 (p/v)), respetivamente. A determinação do azoto total, amoniacal e nítrico presente no solo após cada um dos cortes foi realizada segundo a metodologia descrita na caracterização do solo inicial. O solo foi também analisado relativamente ao teor de humidade nesses momentos.

O solo final (após o 3.º corte) foi também caracterizado relativamente às concentrações de Sódio e Cálcio, macronutrientes secundários para as plantas, segundo a metodologia descrita anteriormente.

3.3 Instalação e Condução do Ensaio de Incubação

Realizou-se um ensaio de incubação aeróbia durante 92 dias. Foram utilizadas 15 caixas de PVC, cada uma com 1kg de solo. Colocaram-se à temperatura controlada de 20°C. As caixas foram mantidas entreabertas uma vez tratar-se de uma incubação aeróbia. A quantidade de azoto aplicada a cada kg de solo correspondeu a aproximadamente 0,08g N.

Ensaíram-se em triplicado as seguintes modalidades:

- i. Sorelho 100% N – quantidade de sorelho aplicado ao solo correspondente à porção de azoto veiculada através do adubo mineral;
- ii. Sorelho + Adubo Mineral – metade da quantidade de azoto fornecida pelo sorelho e a restante metade fornecida pelo adubo mineral
- iii. Chorume Bruto – todo o azoto fornecido através do chorume;
- iv. Chorume Bruto + Sorelho – metade da quantidade de azoto fornecida pelo chorume bruto e a restante metade fornecida pelo sorelho;
- v. Controlo (sem aplicação de qualquer nutriente)

As quantidades de azoto aplicadas ao solo em cada modalidade encontram-se descritos na **Quadro 4**.

Quadro 4 – Quantidade de azoto veiculado por cada uma das modalidades no ensaio de incubação.

MODALIDADES	N veiculado através do sorelho (mg)	N veiculado pelo chorume (mg)	N veiculado pelo adubo (mg)	N total adicionado (mg)
Sorelho 100%	79,98	0	0	79,98
Sorelho + Adubo	39,99	0	41	80,99
Controlo	0	0	0	0
Chorume	0	80,10	0	80,10
Sorelho + Chorume	39,99	40,05	0	80,04

Realizou-se uma amostragem regular de solos de cada caixa. Para esse efeito, retiraram-se, aproximadamente, 15g de solo de cada caixa, em cada uma das amostragens. Foi determinado o Azoto Mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) presente no solo, através da extração com KCl (2M) segundo o método descrito por Fangueiro et al., 2010a.

A leitura dos resultados foi realizada com recurso a um auto-analisador de fluxo segmentado que pode ser observado na **Figura 11**.



Figura 11 – Análise laboratorial de azoto mineral no solo realizada em auto-analisador de fluxo segmentado (Skalar).

Sempre que foi realizada uma amostragem foi corrigida a humidade do solo, através da diferença entre a pesagem de cada caixa antes dessa amostragem e a pesagem final da anterior amostragem realizada. Pontualmente procedeu-se também à monitorização do pH (H_2O) e Condutividade Elétrica do solo como descrito na secção 3.1.1.

A amostragem de solos foi realizada segundo o calendário do **Quadro 8.1 - Anexos**.

3.4. Cálculos utilizados na interpretação de resultados

a) Ensaio em Vasos com plantas de azevém

Para análise dos dados obtidos relativamente à disponibilidade de azoto foram calculadas as exportações desse nutriente após os três cortes realizados na parte aérea e no final do ensaio relativamente às raízes, em cada uma das modalidades. Para o cálculo das exportações consideraram-se as produções obtidas de MS (Matéria Seca) e a concentração de N nas plantas e/ou nas raízes.

O cálculo da exportação de azoto seguiu a **Equação 2**. Os resultados das exportações foram expressos em mg/ vaso.

$$\text{Exportação} = \text{MS (kg)} \times \text{Concentração de N em cada corte e/ou raízes (g/kg)} \quad (2)$$

Posteriormente quantificou-se a exportação total de azoto face ao que foi aplicado no solo ao longo do ensaio (através das adubações de fundo e de cobertura) quando comparado com o Controlo, em termos percentuais, ou seja, calculou-se para cada modalidade a eficiência de utilização de azoto segundo a **Equação 3**:

$$\text{Eficiência de utilização (\%)} = \frac{\text{Exportação N (tratamento)} - \text{Exportação N (controlo)}}{\sum \text{Adubações} + \text{Azoto no solo}} \times 100 \quad (3)$$

Para além de avaliar a Condutividade Elétrica do solo de modo a verificar a existência de salinização ou sodização do solo, a FAO (Food and Agriculture Organization) apresenta ainda um outro indicador complementar que pode ser relevante neste estudo por ser indicativo de sodização dos solos. Dada a importância dos iões Na, Ca, Mg e K para a estrutura do solo, calculou-se para o Ensaio em Vasos com plantas de azevém a PST (Percentagem de Sódio Trocável) através da **Equação 4**:

$$\text{Percentagem de Sódio Trocável} = \left(\frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} \right) \times 100, \quad (4)$$

em que Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em mmol kg⁻¹

b) Ensaio de incubação

Segundo a metodologia descrita em Fangueiro et al, 2010, ao solo são adicionados efluentes nas diversas modalidades e retiradas amostras de solo em dias t previamente estipulados.

A Mineralização Líquida é calculada através da **Equação 5**:

$$\text{Mineralização Líquida} = N_{\text{min } (t)} - N_{\text{min solo}} \quad (5)$$

A Mineralização Líquida Aparente também pode ser estimada através da **Equação 6**:

$$\text{Mineralização Líquida Aparente} = \text{Mineralização Líquida}_{\text{tratamento}} - \text{Mineralização Líquida}_{\text{Controlo}} \quad (6)$$

3.5 Tratamento estatístico

Recorreu-se ao programa Statistix10 para a análise das variâncias onde se realizou a ANOVA e, posteriormente, um teste de comparação de médias com o teste de Tukey a 95% de confiança ($\alpha = 0,05$) para se determinar quaisquer diferenças significativas nos dados obtidos.

4. Resultados e Discussão

4.1 Acidificação do chorume com sorelho

4.1.1 Características do sorelho utilizado

Após análise laboratorial do sorelho recolhido em cada data foram observadas algumas variações na sua composição, nomeadamente no que diz respeito ao Azoto Total e amoniacal; Potássio Extraível (K_2O); pH; Matéria Orgânica, o que demonstra alguma heterogeneidade e variabilidade neste produto (podendo ser justificada por diferenças no modo de produção do requeijão ou na recolha do sorelho dos tanques da empresa), como pode ser observável na apresentação dos resultados do **Quadro 5**.

Quadro 5 – Resultados das análises laboratoriais realizadas às diferentes amostras de sorelho recolhido na empresa Queijos Santiago.

Característica	Valor correspondente		
	Data de recolha da amostra		
	26/02	23/04	17/05
pH inicial (H_2O)	5,02	4,80	5,45
Condutividade Elétrica (mS/cm)	15,96	15,24	17,40
Extrato Seco (%)	8,77	6,95	8,52
Azoto amoniacal (g $N-NH_4^+$ kg^{-1})	0,14	0,07	0,07
Azoto total (g N kg^{-1})	1,90	0,73	0,80
Potássio Extraível (K_2O)	1,50	0,09	0,07
Sódio (Na)	-	2,12	3,33
Cálcio Extraível (Ca)	-	0,50	0,50
Matéria Orgânica (%)	7,47	5,83	7,20

4.1.2 Características do chorume utilizado

No **Quadro 6** descrevem-se as principais características determinadas relativamente ao chorume utilizado nesta dissertação.

Quadro 6 – Resultados das análises laboratoriais realizadas ao chorume.

Característica	Valor correspondente
pH	7,52
Condutividade Elétrica (mS/cm)	4,56
Matéria Orgânica (%)	1,29
Matéria Seca (%)	5,08
Azoto amoniacal (g N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹)	1,08
Azoto total (g N kg ⁻¹)	2,44
Fósforo total (P ₂ O ₅)	0,45
Potássio total (K ₂ O)	1,19

4.1.3 Variação do pH do chorume

Das proporções testadas, a que pareceu ser mais satisfatória quanto à eficácia da acidificação e ao tempo necessário para fazer baixar o pH para valores inferiores a 5,5 foi 2:1, pelo que neste ensaio o chorume foi acidificado nessa proporção (chorume: sorelho).

A primeira monitorização do pH comprovou que efetivamente a adição de sorelho ao chorume permite reduzir o pH deste até valores inferiores a 5,5, conforme pode ser comprovado no **Quadro 7**.

Quadro 7 – Variação do pH na mistura Chorume + Sorelho.

pH inicial da mistura	6,86
Dia 2	5,46
Dia 3	5,37

Após verificar o abaixamento de pH até 5,5 com a primeira monitorização, realizou-se uma segunda acidificação durante 15 dias de modo a avaliar se a capacidade de diminuição do pH do chorume acidificado com o sorelho se mantinha e para que valores tendia.

Os resultados encontram-se representados na **Figura 12**.

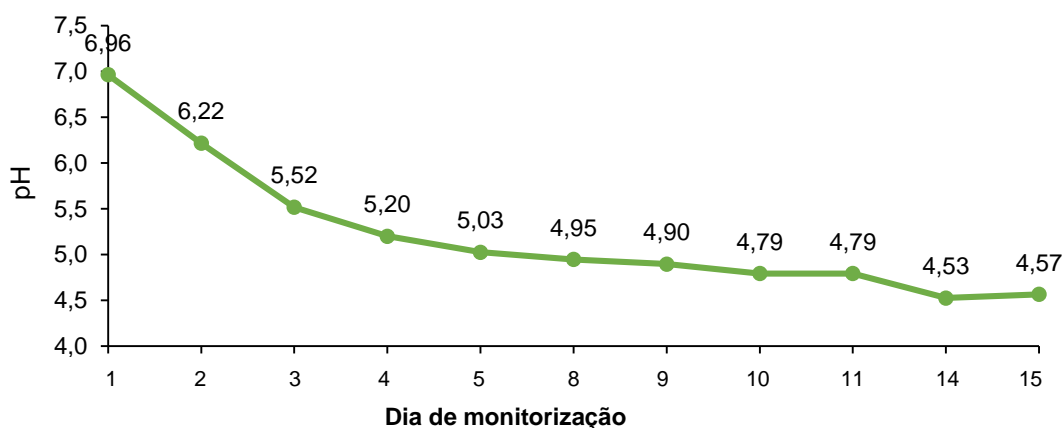


Figura 12 – Acompanhamento da evolução do pH da mistura Sorelho + Chorume.

Como havia sido comprovado, ao dia 3 do processo de acidificação, a mistura Chorume + Sorelho atinge o pH aproximado de 5,5 e observa-se um abaixamento constante durante os dias seguintes até atingir no dia 15 o valor de pH 4,57. Pode assim concluir-se que o sorelho é uma eficaz alternativa (no que respeita à acidificação) ao ácido sulfúrico que tem vindo a ser utilizado na acidificação de chorumes, nomeadamente em países do norte da Europa.

4.1.4. Emissões de amoníaco (NH₃)

Os resultados obtidos durante o ensaio de emissões de amoníaco encontram-se descritos na **Figura 13**.

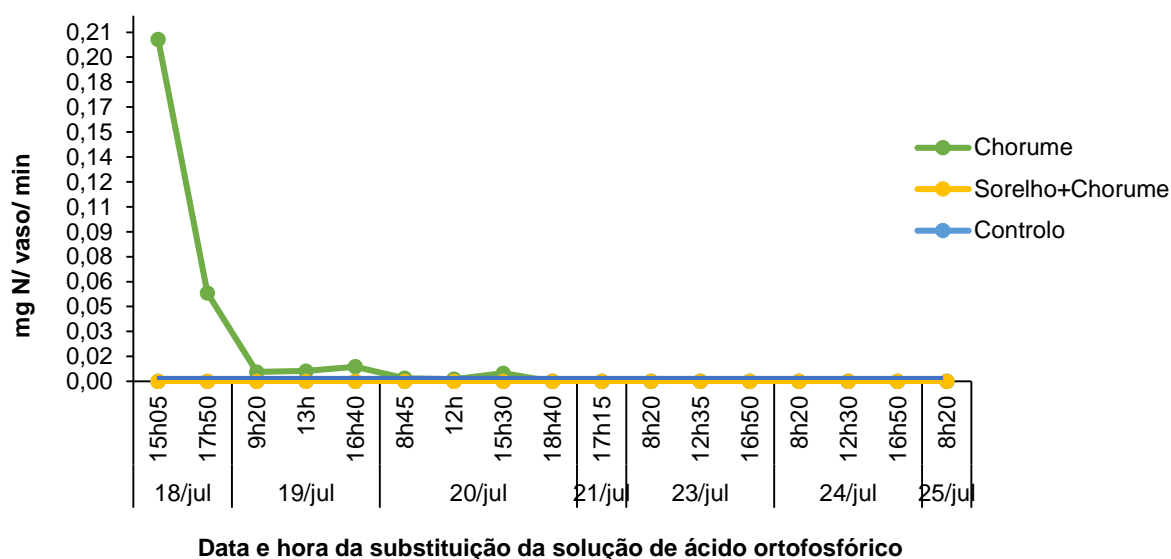


Figura 13 – Evolução da taxa de emissão de NH₃ do solo para os diferentes tratamentos considerados ao longo do período de monitorização.

Fica assim comprovada que a capacidade acidificante do sorelho sobre o chorume, anteriormente comprovada, permite inibir totalmente as suas emissões de NH₃. Para além disso é possível também observar que desde o momento da aplicação da mistura Sorelho + Chorume ao solo, até ao fim do ensaio (ao fim de 8 dias) que as emissões foram sempre nulas. Pode concluir-se que o efeito acidificante do sorelho sobre o chorume persiste, pelo menos, durante o tempo considerado.

Estes resultados mostram ser bastante satisfatórios podendo equacionar-se a utilização de sorelho como acidificante, no que respeita à inibição das emissões de amoníaco.

Os resultados obtidos quanto às emissões de amoníaco do chorume não tratado confirmam ainda o referido por Figueiro et. al., 2015, que 50% das emissões totais de NH₃ ocorrem nas primeiras 24h depois da aplicação direta ao solo.

4.2. Ensaio em vasos com plantas de Azevém Italiano

Como referido anteriormente, na prática este ensaio só se inicia após a 1.^a adubação de cobertura, porque até essa fase todos os vasos se encontravam nas mesmas condições. Sendo assim, relativamente ao 1.º corte são apresentados os valores médios obtidos nos 24 vasos em estudo. Isto aplica-se quer na análise do material vegetal, quer no estudo do impacto das diferentes modalidades no solo.

4.2.1. Resultados obtidos relativamente ao material vegetal nos 3 cortes de Azevém Italiano

4.2.1.1. Matéria Verde

Considerando que o azevém é maioritariamente consumido pelos animais em verde (ou seja, sem passar pelas fases de conservação e fenação), para os agricultores e técnicos os resultados mais relevantes quanto à produção vegetal desta planta forrageira dizem respeito à matéria verde. Os valores de matéria verde de azevém obtidos em cada corte são apresentados na **Figura 14**.

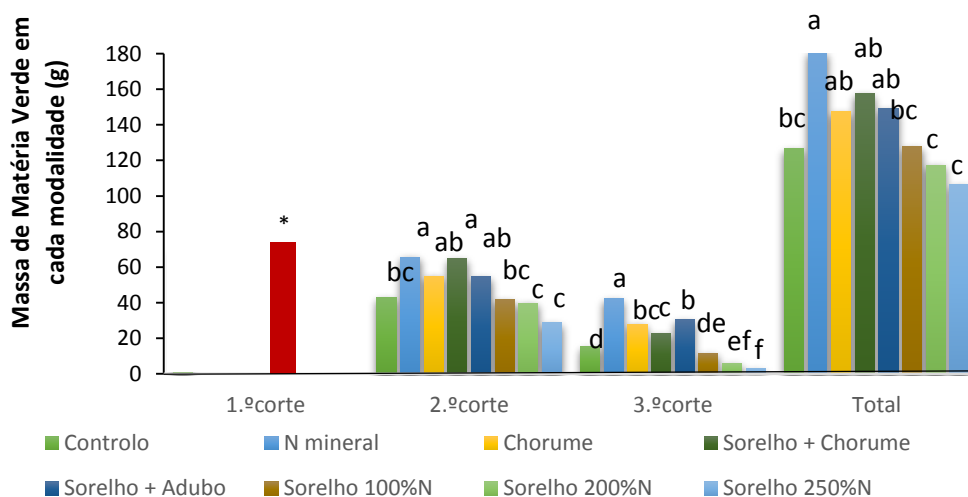


Figura 14 – Massa de MV (Matéria Verde) de azevém obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados e na totalidade do ensaio. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

*média dos 24 vasos em estudo

Com base na **Figura 14**, conclui-se que surgem diferenças significativas ($P < 0,05$) relativamente à massa de matéria verde obtida, entre modalidades ao longo do ensaio em vasos.

Relativamente ao 2.º corte, os resultados obtidos nos tratamentos N mineral e Sorelho + Chorume não são estatisticamente diferentes e são aqueles em que se observaram maiores produções de matéria verde. Também as modalidades em que foi aplicado chorume na forma não tratada e misturada com sorelho, não revelam diferenças significativas, o que demonstra que a acidificação de chorume com sorelho não compromete a produção de azevém italiano, antes pelo contrário, conduz a maiores produções o que pode ser justificado pelo afirmado em Regueiro et al., (2016a), que da acidificação resulta maior disponibilização de azoto para as plantas. Estatisticamente semelhantes a estes tratamentos são também as modalidades em que se aplicou Chorume e Sorelho + Adubo.

Nos tratamentos Controlo e Sorelho 100%N observam-se resultados estatisticamente semelhantes, o que revela que a aplicação isolada de sorelho não afeta positivamente a produção de biomassa em qualquer um dos cortes. A produção de matéria verde foi, ainda, inferior nas modalidades em que se aplicaram maiores quantidades de sorelho, isto é, em Sorelho 200%N e Sorelho 250%N, que apresentaram resultados estatisticamente semelhantes entre elas.

No 3.º corte acentuaram-se as diferenças observadas entre as modalidades no corte anterior. Em todas as modalidades se observa uma redução significativa da massa de matéria verde obtida relativamente ao 1.º e 2.º cortes, como pode ser observado na **Figura 15** através da diminuição do comprimento geral de todas as plantas. Todas as modalidades, exceto Sorelho 200%N e 250%N em que as plantas já estavam mortas, já se encontravam no estado fenológico de espigamento (devido, provavelmente, à conjugação de fatores de temperatura, humidade e luminosidade da estufa que se fizeram sentir entre o segundo e último cortes) o que pode justificar a redução na produção de material vegetal como é referido em Moreira, (2002) uma vez que as plantas se focaram, nesse período, no desenvolvimento reprodutivo.

A modalidade N mineral continua a ser a que apresentou maior produção de matéria verde, sendo estatisticamente diferente das restantes. No tratamento Sorelho + Chorume, onde no 2.º corte se observaram resultados idênticos a N mineral, neste corte notou-se uma redução significativa na sua produção que pode ser justificada pela não aplicação de qualquer tipo de adubação de cobertura nesta modalidade após o 2.º corte. Ainda

assim, estes resultados continuam a ser estatisticamente idênticos aos observados aquando da aplicação de chorume não tratado.

A produção de matéria verde é muito inferior nas modalidades em que se aplicaram maiores quantidades de sorelho, observando-se que estas responderam muito negativamente à segunda aplicação de cobertura, provavelmente devido à elevada concentração de sais aplicada através do sorelho. Como consequência, as plantas cessaram o seu crescimento e acabaram por morrer como se encontra amostrado na **Figura 16**. Para além disso, notou-se que o solo teve dificuldade em absorver a quantidade de sorelho aplicada nessas doses e por isso parte dele ficou precipitado à superfície.

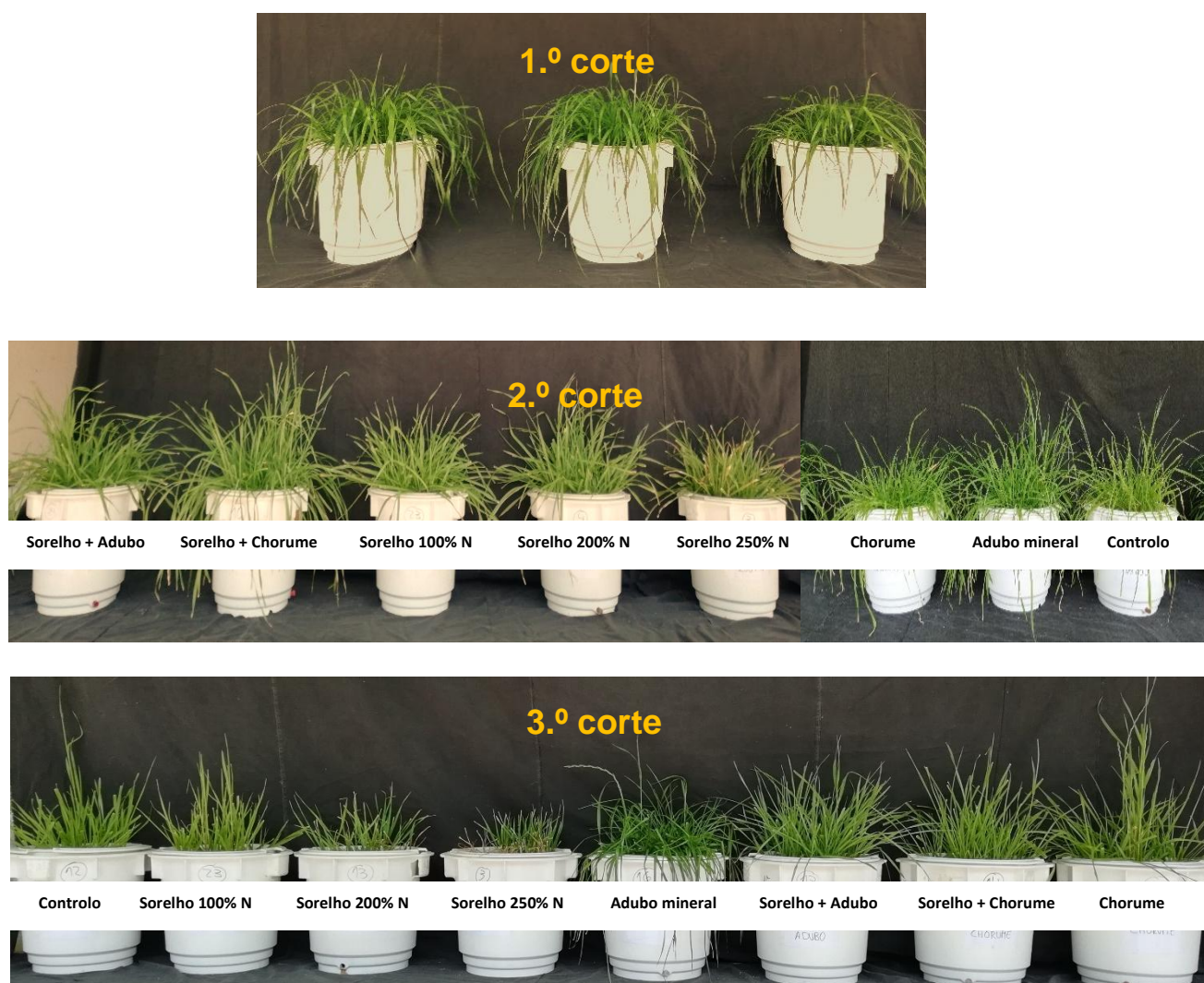


Figura 15 – Plantas de azevém (amostra de cada tratamento) momentos antes do 1.º, 2.º e 3.º cortes. No 1.º corte apenas surgem 3 vasos uma vez que todos os vasos se encontravam nas mesmas condições.



Figura 16 – Vaso após a 2.^a aplicação de cobertura na modalidade Sorelho 250%N e respectivo resultado nas plantas já mortas antes do 3.^o corte.

4.2.1.2 Matéria Seca

Os resultados obtidos relativamente à matéria seca de azevém alcançados em cada corte são apresentados na **Figura 17**.

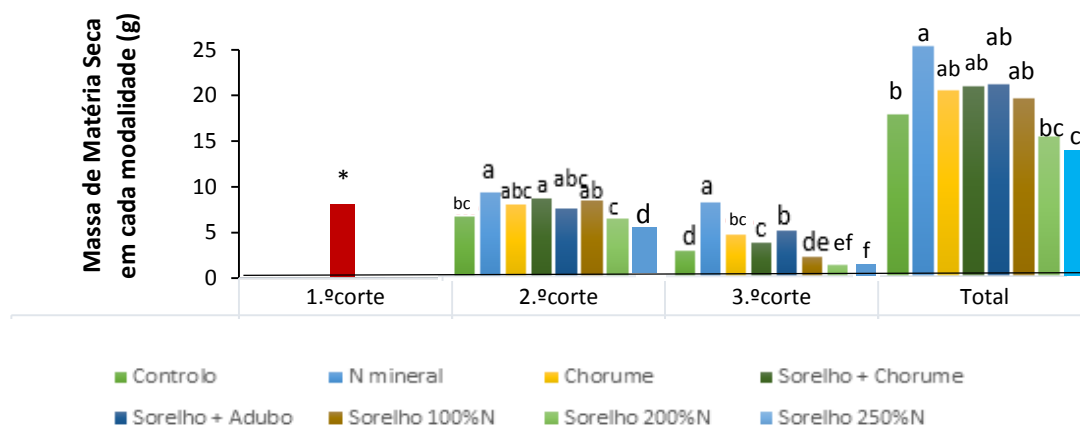


Figura 17 - Massa de MS (Matéria Seca) de azevém obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados e no total. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

*média dos 24 vasos em estudo

No 2.º corte, os resultados nas modalidades N mineral e Sorelho+Chorume são estatisticamente idênticos e resultam nas maiores produções de matéria seca, à semelhança do observado quanto à produção de matéria verde. Ainda assim, nesse corte o tratamento Sorelho 100%N não apresenta diferenças estatisticamente muito significativas quando comparado com N mineral, Sorelho+Chorume, Chorume e Sorelho+Adubo. Diferenças estatisticamente significativas são observadas entre os tratamentos N mineral e Sorelho+Chorume e, Sorelho 200% e Sorelho 250%N.

À semelhança dos resultados conseguidos na produção de matéria verde, a massa obtida de material seco no 3.º corte é inferior em todas as modalidades quando se compara com o corte anterior. A produção total de matéria seca continua a ser muito inferior nas modalidades em que se aplicaram maiores quantidades de sorelho, em qualquer um dos cortes considerados e conseqüentemente na produção total.

Os resultados descritos anteriormente indicam que a aplicação isolada de sorelho ao solo está limitada à dose a utilizar. Nas modalidades em que foi veiculada uma maior quantidade de azoto através de uma maior quantidade de sorelho, respetivamente Sorelho 200%N e Sorelho 250%N, as plantas responderam negativamente com resultados muito insatisfatórios e longe do esperado para as produções de Matéria Verde e Matéria Seca na cultura de azevém. Conclui-se, portanto que a dose máxima de sorelho a aplicar como adubação de cobertura corresponde a Sorelho 100%N, ainda que os resultados não tenham sido muito satisfatórios. Por conseguinte, e com vista à produção de matéria verde, sugere-se a aplicação conjugada de sorelho com adubo ou com chorume, já que os resultados referentes à produção total não diferem significativamente dos conseguidos com a adubação mineral.

4.2.1.3 Concentração de Azoto na Matéria Seca

No que respeita à concentração de azoto na matéria seca de azevém (g N/ kg Matéria Seca) alcançada em cada corte e em cada uma das modalidades ensaiadas, os resultados são apresentados no **Quadro 8**.

Quadro 8 – Concentração de azoto na Matéria Seca obtida em cada modalidade em cada um dos cortes realizados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Para cada corte, colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

*média dos 24 vasos em estudo

	Concentração de Azoto (g N/kg Matéria Seca)		
	1.ºcorte	2.ºcorte	3.ºcorte
Controlo	17,53*	53,89 ^a	18,44 ^a
Adubo mineral		49,24 ^a	26,10 ^a
Chorume		50,29 ^a	18,84 ^a
Sorelho+ Chorume		49,18 ^a	17,51 ^a
Sorelho + Adubo		46,52 ^a	23,07 ^a
Sorelho 100%N		52,16 ^a	17,82 ^a
Sorelho 200%N		43,17 ^a	21,32 ^a
Sorelho 250%N		48,15 ^a	25,58 ^a

Não se observam diferenças estatisticamente significativas entre modalidades nem entre cortes, o que é bastante satisfatório. Apesar de as diferenças não serem significativas, a aplicação de azoto através do sorelho conduziu a valores superiores deste macronutriente na matéria seca, quando comparados com os resultados obtidos nas modalidades em que foi aplicado chorume ou adubos de síntese química. Esta tendência era espectável uma vez que a produção de matéria seca foi efetivamente menor nas modalidades que contêm sorelho (nomeadamente em Sorelho 200%N e 250%N), levando a concentrações de N superiores nessas modalidades, nomeadamente no 3.ºcorte.

Em todas as modalidades no 2.ºcorte existiu um aumento da concentração de N quando comparado com a média obtida no 1.º corte. No 3.º corte os teores de azoto diminuem em todas as modalidades. A redução das concentrações de N verificada nas plantas do 3.º corte pode ser indicador de que estas já tinham atingido o final do ciclo vegetativo como referido anteriormente.

Neste último corte é ainda importante referir que apesar de ter sido feita uma segunda adubação de cobertura, existe uma clara deficiência de N em todas as modalidades uma

vez que os valores médios observados são inferiores ao intervalo 30-42 g/kg Matéria Seca referido por Bergmann, (1992) como adequado ao correto desenvolvimento vegetativo. Este desequilíbrio nutritivo pode justificar a diminuição da produção vegetal observada nesse corte em todas as modalidades.

4.2.1.4 Raízes

Os resultados obtidos após o 3.º corte no que respeita à medição e pesagem das raízes encontram-se descritos na **Figura 18**.

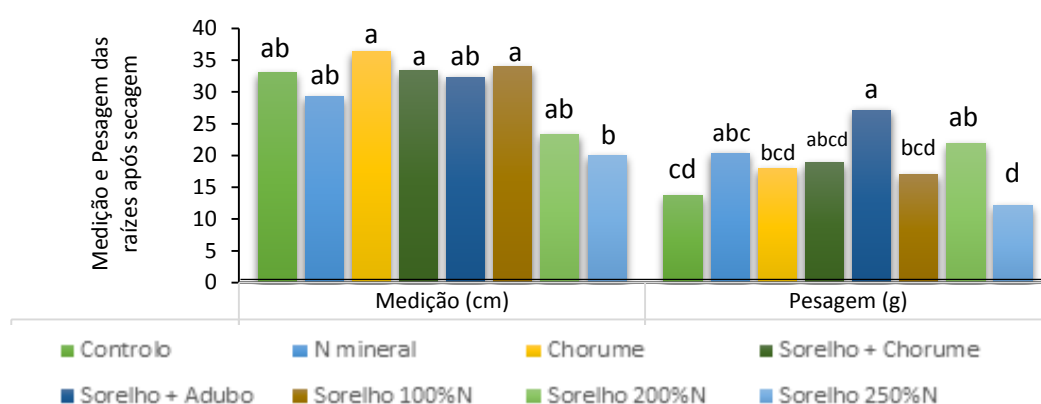


Figura 18 – Medição (cm) e pesagem (g) das raízes de azevém no final do ensaio. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

As modalidades Chorume, Sorelho + Chorume e Sorelho 100%N para além de serem estatisticamente idênticas, representam também os tratamentos cujos resultados obtidos na medição das raízes foi superior. O tratamento Sorelho 250%N é estatisticamente diferente ($P < 0,05$) destes e coincide com aquele cujo comprimento de raízes é inferior em todos os tratamentos como pode ser observável com a análise da **Figura 19**. O reduzido comprimento das raízes é indicativo de reduzido desenvolvimento radicular que naturalmente tem implicações na produtividade do azevém uma vez que a raiz tem uma função vital na absorção de água e nutrientes pela planta.

A pesagem das raízes revela que a maior massa seca obtida das mesmas foi conseguida em Sorelho + Adubo e a menor em Sorelho 250%N (coincidindo esta com o menor comprimento de raízes obtido), sendo estes tratamentos estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Tal como relativamente à medição, Chorume e Sorelho 100%N revelam ser estatisticamente idênticos.

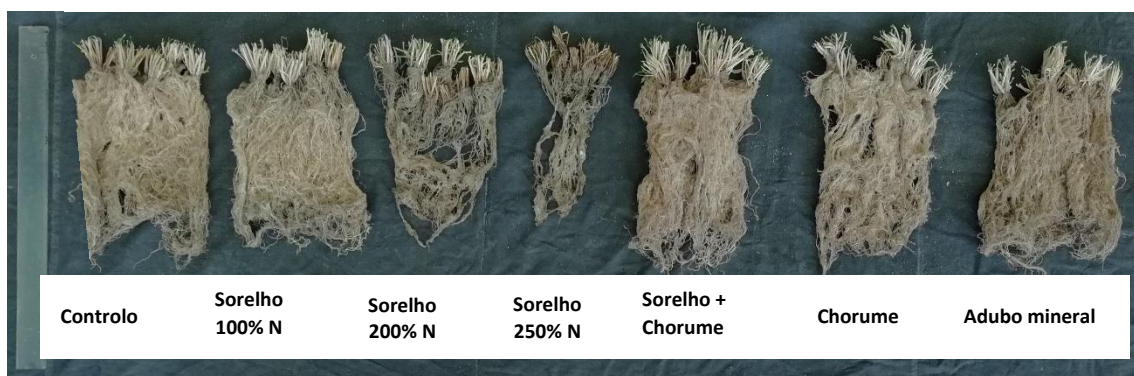


Figura 19 – Fotografia de raízes de uma amostra de cada tratamento após corte final e término do ensaio.

4.2.2 Exportação e eficiência de utilização de azoto

Os resultados da exportação de azoto pelo azevém relativamente à parte aérea (no 2.º e 3.º cortes e no somatório dos mesmos), às raízes e ao conjunto da planta encontram-se descritos na **Figura 20**. Os valores obtidos resultam da aplicação da **Equação 2**.

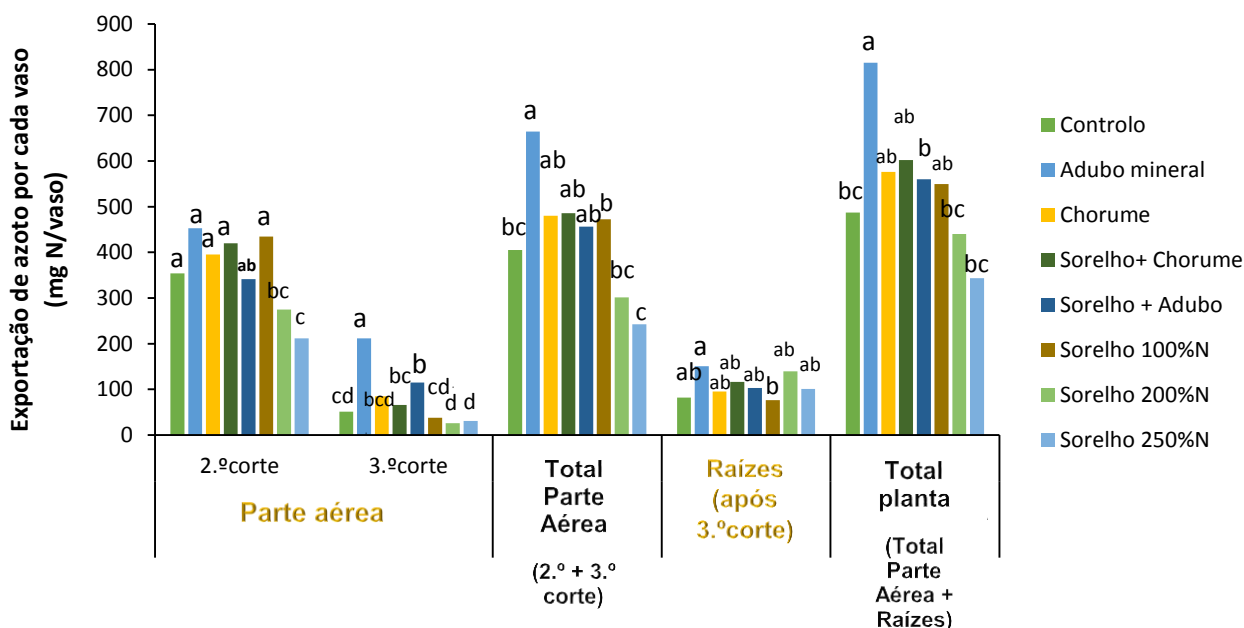


Figura 20 - Exportação de azoto por cada vaso. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$. * Uma vez que se está a avaliar o impacto das adubações de cobertura nas diferentes modalidades, não são apresentados os resultados para o 1.º corte (em que apenas se contabilizou a adubação de fundo).

Relativamente à parte aérea, no segundo corte as modalidades Controlo, Adubo Mineral, Chorume, Sorelho + Chorume e Sorelho 100%N são estatisticamente semelhantes e são aquelas cuja exportação de azoto mostra ser superior neste ensaio. Nos tratamentos Sorelho 200%N e 250%N a exportação de azoto foi inferior aos valores do Controlo.

Observa-se uma diminuição acentuada da exportação de azoto no 3.º corte em todas as modalidades estudadas, o que pode também ser justificado pela fase do desenvolvimento reprodutivo em que a maioria das plantas se encontravam nesse momento - espigamento (Moreira, 2002). Ainda assim, as diferenças estatísticas mantêm-se e intensificam-se, nomeadamente entre Adubo Mineral e as modalidades que continham sorelho. Nas modalidades Sorelho 200%N e 250%N os valores obtidos neste corte foram residuais, justificado pela reduzida produção de Matéria Seca destas amostras nesta fase do ensaio.

As quantidades de azoto exportada pelas raízes são estatisticamente mais semelhantes entre modalidades, exceto entre Adubo Mineral e Sorelho 100%N em que se observam diferenças estatísticas significativas ($P < 0,05$).

Olhando para a planta como um todo, ou seja, considerando os resultados dos 2 cortes e das raízes, a maior exportação de azoto é na modalidade em que foi aplicado Adubo Mineral, e a menor no Sorelho 250%N, justificada não pela menor concentração de azoto no material vegetal, mas pela reduzida produção de Matéria Seca verificada. Quando se comparam as modalidades Chorume e Sorelho + Chorume, observa-se que a acidificação não contribui para a menor exportação de azoto por parte da planta, uma vez que não são observadas diferenças estatisticamente significativas, o que corrobora com os resultados observados quanto à produção vegetal.

Os resultados da Eficiência de utilização de azoto nos vários tratamentos realizados no ensaio em vasos constam na **Figura 21**. Estes resultados resultam da aplicação da **Equação 3**.

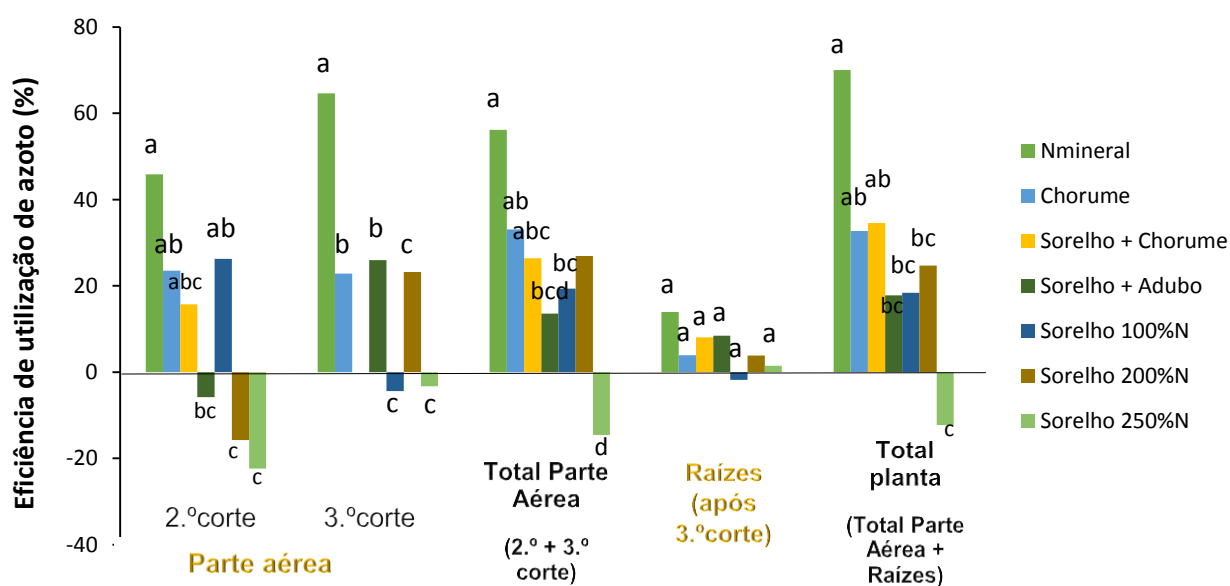


Figura 21 – Eficiência de utilização de azoto em cada vaso. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$. * Uma vez que se está a avaliar o impacto das adubações de cobertura nas diferentes modalidades, não são apresentados os resultados para o 1.º corte (em que apenas se contabilizou a adubação de fundo).

Relativamente à eficiência de utilização de azoto, os resultados coincidem com os da exportação de nutrientes e da produção vegetal apresentados anteriormente, sendo a modalidade Adubo Mineral que apresenta valores mais satisfatórios em qualquer uma das categorias avaliadas na **Figura 21**, o que não é de surpreender porque de uma maneira geral, a aplicação de adubos minerais origina eficiências de utilização de azoto superiores aos fertilizantes orgânicos (Rodrigues and Coutinho 2000). Os restantes resultados obtidos não são razoáveis, já que da aplicação de determinados materiais resultaram valores negativos de eficiência de utilização do azoto, nomeadamente na utilização de sorelho.

No 2.º corte os resultados para as modalidades Chorume e Sorelho 100%N foram estatisticamente semelhantes e não muito diferentes dos obtidos com a aplicação de chorume acidificado com sorelho, comprovando assim que a acidificação do chorume não compromete o valor fertilizante do mesmo, antes pelo contrário, quando se incide na eficiência de utilização total das plantas de cada vaso os resultados para o chorume acidificado, apesar de não serem significativamente diferentes dos de chorume bruto não tratado, conduzem a uma eficiência ligeiramente superior. Contudo não é possível tirar conclusões tão fundamentadas como as de Fangueiro et al., 2015a que afirma que devido ao atraso na nitrificação, o chorume acidificado traduz um maior potencial de fertilização que o de chorume não tratados.

Da segunda aplicação de cobertura, a eficiência de utilização aumenta na modalidade de sorelho conjugada com adubo conduzindo a resultados estatisticamente semelhantes aos observados na aplicação de chorume não tratado ao solo, contudo diminui drasticamente aquando da aplicação isolada de sorelho (nomeadamente em Sorelho 100%).

No 3.º corte não foi possível contabilizar a eficiência de utilização do azoto após a adubação de cobertura, na modalidade Sorelho + Chorume uma vez que esta não se realizou (de acordo com a justificação apresentada anteriormente nesta dissertação).

No tratamento com recurso à maior dose de sorelho os resultados para a eficiência de utilização de azoto são negativos em todas as categorias analisadas, exceto na exportação por parte das raízes. Isto confirma os resultados obtidos relativamente à produção vegetal, já que se prova que o azoto disponibilizado através do sorelho nessa modalidade não é utilizado pelas plantas. Este facto é justificado pela toxicidade, que quantidades excessivas de sorelho, possam causar nas plantas, com a produtividade das culturas a ser também negativamente afetada de forma indireta pelas interações do azoto com outros nutrientes, água e restantes fatores de crescimento (Marschner, 1986).

4.3 Resultados obtidos relativamente ao solo inicial e após cada corte

4.3.1 Características do solo inicial

No **Quadro 9** encontram-se as principais características determinadas relativamente ao solo utilizado em todos os ensaios desta dissertação.

Quadro 9 – Resultados das análises laboratoriais realizadas ao solo

Característica	Valor correspondente
pH (H ₂ O)	6,33
Condutividade Elétrica (μS/cm)	64,26
Azoto amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹)	12,6
Azoto nítrico (mg N-NO ₃ ⁻ kg ⁻¹)	14,6
Azoto Kjeldahl (g N kg ⁻¹)	0,79
Fósforo Extraível (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	63,46
Potássio Extraível (mg K ₂ O kg ⁻¹)	37,54
Ferro Extraível (mg Fe kg ⁻¹)	33,13
Cobre Extraível (mg Cu kg ⁻¹)	34,06
Cálcio Extraível (cmol Ca kg ⁻¹)	0,006
Magnésio Extraível (cmol Mg kg ⁻¹)	0,001
Sódio Extraível (mg Na kg ⁻¹)	6,95*10 ⁻⁵
Matéria Orgânica (%)	1,50

4.3.2 Azoto amoniacal e nítrico no solo

Por serem as formas de azoto que são, preferencialmente, absorvidas pelas plantas, avaliou-se a concentração de azoto amoniacal (NH₄⁺) e nítrico (NO₃⁻) no solo após cada um dos cortes.

Os resultados das concentrações de azoto amoniacal e nítrico no solo constam no **Quadro 10**.

Quadro 10 – Concentração de azoto amoniacal (NH_4^+) e nítrico (NO_3^-) no solo após cada corte em cada um dos tratamentos ensaiados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Linhas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

* média dos 24 vasos em estudo

N.D – Não determinável

		Controlo	Adubo mineral	Chorume	Sorelho+ Chorume	Sorelho + Adubo	Sorelho 100%N	Sorelho 200%N	Sorelho 250%N
1.º corte	NH_4^+ (mg NH_4^+ /kg solo)	9,06*							
	NO_3^- (mg NO_3^- /kg solo)	18,71*							
2.º corte	NH_4^+ (mg NH_4^+ /kg solo)	15,19 ^a	13,99 ^a	14,79 ^a	14,26 ^a	15,77 ^a	15,51 ^a	14,38 ^a	14,46 ^a
	NO_3^- (mg NO_3^- /kg solo)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
3.º corte	NH_4^+ (mg NH_4^+ /kg solo)	9,27 ^a	11,08 ^b	9,73 ^b	51,82 ^a	9,87 ^b	9,65 ^b	9,73 ^b	58,46 ^a
	NO_3^- (mg NO_3^- /kg solo)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Em todas as modalidades a concentração de azoto amoniacal aumenta no período entre o 1.º e 2.º cortes, contudo apenas nas modalidades em que foi aplicado somente sorelho nas adubações de cobertura se verifica também um aumento entre o 2.º e 3.º cortes sendo essas as modalidades em que existe uma concentração superior de azoto amoniacal no solo no final do ensaio.

Após o 2.º corte, todas as modalidades apresentam resultados estatisticamente semelhantes relativamente ao azoto amoniacal presente no solo, o que faz querer que o azoto amoniacal foi absorvido de forma idêntica pelas plantas em todas as modalidades. Ainda assim, observa-se que a maior concentração de NH_4^+ no solo correspondia a Sorelho + Adubo e a menor a Adubo Mineral.

Diferenças significativas observam-se após o 3.º corte em que as modalidades Sorelho 250%N e Sorelho + Chorume mostram ser estatisticamente idênticas e diferentes das restantes. Pressupõem-se assim que apesar de disponível no solo, o azoto amoniacal não é absorvido pelas plantas, nomeadamente na modalidade em que foi adicionado ao

solo a maior quantidade de azoto através do sorelho (esta conclusão é justificada mais à frente nesta dissertação quando se observarem as concentrações de sódio e a Percentagem de Sódio Trocável no solo).

Analisando as concentrações de azoto nítrico no solo, depois da primeira adubação de cobertura (ou seja, nos resultados relativos às recolhas de solo após o 2.º e 3.º cortes) estas não são determináveis em nenhuma das modalidades. Sabendo que de um modo geral, as plantas absorvem predominantemente azoto na forma nítrica, uma vez que, em solos bem arejados e de pH próximo da neutralidade (que é o caso do solo utilizado neste ensaio) esta forma de azoto ocorre em concentrações mais elevadas (Boswell et al., 1985, será natural que nos momentos em que foram realizadas amostragens do solo, as plantas já tivessem absorvido a totalidade do azoto nítrico veiculado através das adubações realizadas.

4.3.2 Cálcio e Sódio no solo no fim do ensaio em vasos

Para além da análise do azoto amoniacal e nítrico presente no solo, considerou-se também importante determinar a concentração de outros macronutrientes no final do ensaio, como o Sódio e Cálcio, uma vez que se conhecia a salinidade e as concentrações destes nutrientes no sorelho e pretendeu-se avaliar o seu impacto na composição do solo após as aplicações de cobertura.

Os resultados obtidos nessas determinações constam no **Quadro 11**.

Quadro 11 – Concentrações de Cálcio e Sódio no solo, nos diferentes tratamentos, no final do ensaio em vasos. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Linhas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

	Controlo	Adubo mineral	Chorume	Sorelho + Chorume	Sorelho + Adubo	Sorelho 100%N	Sorelho 200%N	Sorelho 250%N
Cálcio (mmol/kg solo)	0,1154 ^b	0,1063 ^b	0,2037 ^a	0,0838 ^b	0,0915 ^b	0,0929 ^b	0,1092 ^b	0,0908 ^b
Sódio (mmol/kg solo)	0,0013 ^c	0,0024 ^c	0,0023 ^c	0,0025 ^c	0,0097 ^{bc}	0,0170 ^b	0,0274 ^a	0,0331 ^a

Com base na análise do quadro acima é possível observar diferenças estatísticas significativas entre as modalidades para as concentrações de ambos os nutrientes, mas essencialmente para o caso do sódio.

No que respeita à concentração de cálcio no solo, os resultados mostram que todas as modalidades são estatisticamente semelhantes, exceto aquela a que foi adicionado chorume bruto não tratado (que corresponde ao valor mais elevado desse micronutriente no solo, 0,2037 mmol/kg solo).

Relativamente ao teor de sódio no solo, também existem diferenças significativas no que respeita ao tratamento estatístico.

Nas modalidades a que foram adicionadas maiores quantidades de sorelho, a concentração de sódio no solo é efetivamente superior. Estes resultados parecem estar de acordo com as menores produções vegetais observadas nessas modalidades, já que se sabe que a acumulação excessiva de sódio na parede celular conduz rapidamente ao stress osmótico e à morte celular (Munns, 2002), que foi precisamente o observado na modalidade Sorelho 250%N no final do ensaio, em que as plantas já se encontravam mortas no momento do 3.º corte.

Os tratamentos a que foi adicionado chorume apresentam resultados idênticos no que respeita à concentração deste micronutriente principal, concluindo-se assim que no caso da aplicação de sorelho ao solo através da acidificação do chorume os resultados não mostram ser insatisfatórios no que respeita à presença desses iões no solo.

4.3.3 pH, Condutividade Elétrica e Percentagem de Sódio Trocável no solo

Os valores de pH obtidos ao longo do ensaio em vasos nos vários tratamentos encontram-se descritos na **Figura 22**.

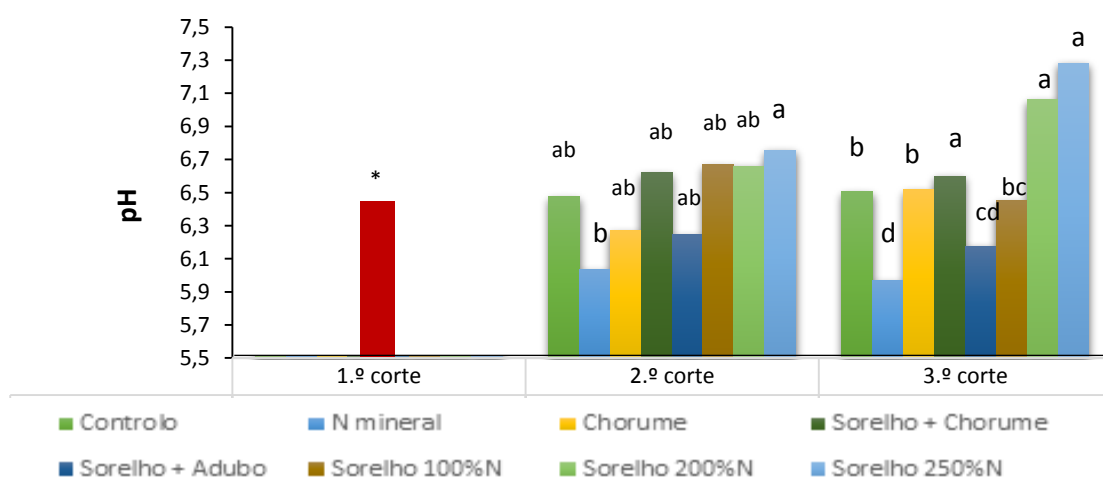


Figura 22 – Valores de pH no solo após recolha de amostras de solo no 1.º, 2.º e 3.º cortes (fim do ensaio). Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

*média dos 24 vasos em estudo

Nas modalidades em que foi aplicado apenas sorelho, bem como nas que continham chorume, observou-se um aumento do pH do solo ao longo do ensaio, ainda que os resultados não se distanciem da neutralidade. Nas modalidades que contêm adubo mineral o pH do solo evoluiu precisamente no sentido contrário.

Relativamente à análise estatística, as modalidades Sorelho 250%N e N mineral mostram ser estatisticamente diferentes depois da primeira adubação de cobertura (ou seja, a partir do 2.º corte), sendo nestas que se encontram os resultados maiores e menores para valores de pH, respetivamente.

Neste ensaio foi particularmente importante avaliar a evolução da condutividade elétrica do solo, uma vez que se conhecia, pela bibliografia e pelas determinações efetuadas, a salinidade do sorelho e se pretendia avaliar a possibilidade de este salinizar ou conduzir à sodização do solo e por isso implicar não só com a sua estrutura física, química e biológica como com a produtividade da cultura em causa.

Os valores de Condutividade Elétrica (CE) no solo obtidos ao longo do ensaio em vasos nos vários tratamentos encontram-se descritos na **Figura 23**.

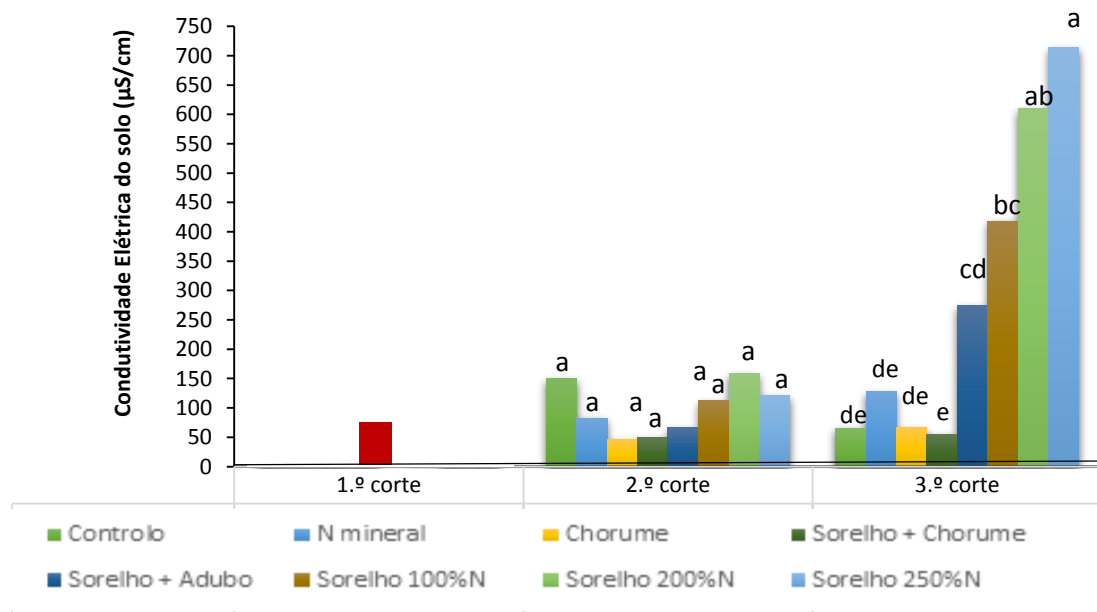


Figura 23 – Valores de Condutividade Elétrica no solo após recolha de amostras de solo no 1.º, 2.º e 3.º cortes (fim do ensaio). Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

*média dos 24 vasos em estudo

Nos casos em que foi aplicado apenas sorelho, observa-se um aumento substancial da Condutividade Elétrica dos solos ao longo do ensaio e são essas modalidades que possuem valores mais elevados para este indicador de salinidade no final do ensaio.

No 2.º corte não se evidenciaram diferenças significativas entre as diferentes modalidades ensaiadas. É após o 3.º corte, ou seja, após duas adubações de cobertura, que os tratamentos mostram ser estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Entre Sorelho 200%N e 250%N surgem diferenças estatísticas ainda que não muito relevantes. Os tratamentos Controlo, N mineral e Chorume não apresentam diferenças significativas que sejam contabilizadas estatisticamente. As maiores desigualdades encontram-se entre a modalidade em que foi aplicada a maior quantidade de sorelho e a do chorume acidificado com sorelho com 54,87 e 714,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respetivamente.

Apesar de se verificar um aumento progressivo da Condutividade Elétrica do solo nas modalidades Sorelho 100%N, 200%N e 250%N ao longo do ensaio em vasos, os valores obtidos não indicam que ocorra salinização do solo ou seja, em nenhum dos casos a condutividade elétrica excede o limiar proposto pela FAO (Food and Agriculture Organization) 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Contudo é necessário ainda analisar a PST (Percentagem de Sódio Trocável) de modo a avaliar a possível sodização dos solos em estudo. Os resultados obtidos em cada umas das modalidades no final do ensaio em vasos estão apresentados na **Figura 24**. Os resultados seguintes foram obtidos com recurso **Equação 4**.

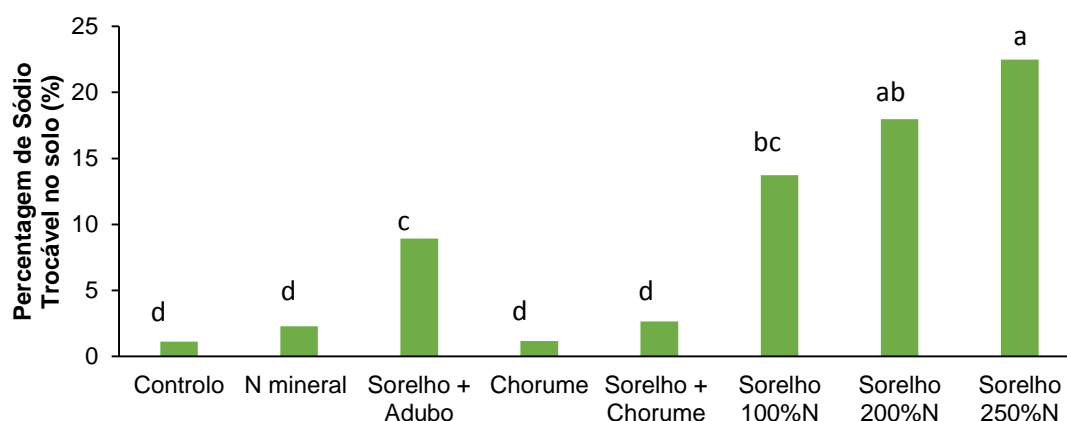


Figura 24 – Percentagem de Sódio Trocável no solo, no final do ensaio em vasos, nos diferentes tratamentos ensaiados. Os valores apresentados são a média de 3 repetições. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

Com base na análise da figura anterior é possível verificar diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ($P < 0,05$), nomeadamente entre aqueles em que foram realizadas adubações de cobertura com sorelho e os restantes.

No final do ensaio em vasos, a Percentagem de Sódio Trocável nas modalidades em foram aplicadas maiores doses de sorelho, isto é, Sorelho 200%N e Sorelho 250%N, é de aproximadamente 18% e 22%, respetivamente. Estes resultados indicam que ocorrera sodização do solo, que segundo os dados da FAO (Food and Agriculture Organization), 1997 acontece quando a Percentagem de Sódio Trocável excede 15%. Sabe-se que o rendimento da maioria das culturas a este nível é bastante reduzido, pelo que estes valores justificam, em grande parte, a reduzida produção de matéria verde e seca de azevém que se observou nestes tratamentos, nomeadamente quando se trata do 3.º corte (Munns, 2005) .

Na modalidade em que foi aplicado chorume acidificado com sorelho, os efeitos da salinidade não se fazem sentir, sendo os resultados da Percentagem de Sódio Trocável estatisticamente semelhantes aos observados nos casos em que se adicionou chorume não tratado e azoto mineral.

É, portanto, especialmente importante avaliar a quantidade de sorelho fornecida ao solo uma vez que se conhece que quantidades excessivas deste efluente conduzem à degradação da estrutura físico-química dos solos nomeadamente na redução da condutividade hidráulica e permeabilidade do solo, e conseqüentemente da taxa de infiltração de água no solo que conduz a perdas na produção vegetal (Pedrotti et al., 2015). Sendo assim, do ponto de vista da salinização do solo, a dose máxima de sorelho a aplicar deve cingir-se à modalidade Sorelho 100%N, à semelhança do constatado aquando da observação dos resultados da produção vegetal de azevém.

4.5 Ensaio de incubação

4.5.1 Azoto amoniacal e nítrico

No ensaio de incubação, o principal objetivo foi avaliar o impacto da aplicação do sorelho, do chorume acidificado e da mistura do adubo mineral com o sorelho na disponibilização de azoto quando comparado com o chorume cujos resultados já são conhecidos de estudos anteriores. Para tal acompanhou-se a evolução do azoto amoniacal (NH_4^+) e nítrico (NO_3^-) que são as formas de azoto preferencialmente absorvidas pelas plantas. Com estes resultados seria possível justificar, em parte, as diferenças de produção vegetal e exportação de azoto referidas anteriormente no ensaio em vasos (Njinga et al., 2013).

Na **Figura 25** encontra-se a variação da concentração de NH_4^+ nas diferentes modalidades ensaiadas ao longo dos 92 dias de incubação.

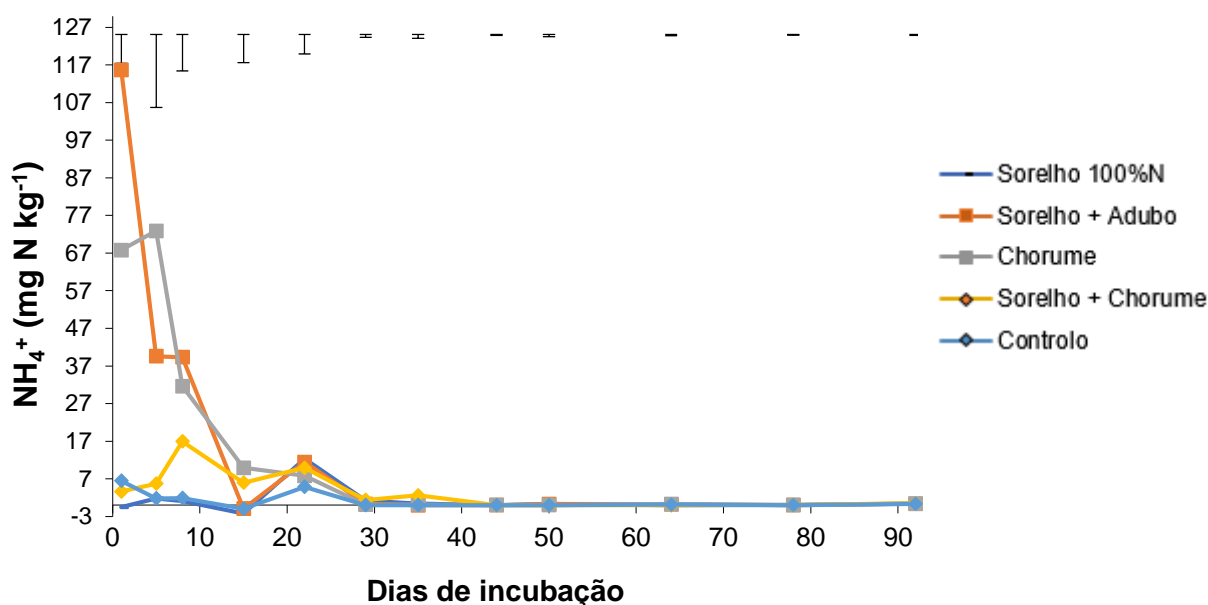


Figura 25 – Evolução da concentração de NH_4^+ no solo para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3).

No início do ensaio (ou seja, no dia imediatamente a seguir à instalação) observaram-se, desde logo, diferenças significativas entre tratamentos no que respeita à concentração de azoto amoniacal no solo.

Em Sorelho + Adubo o valor médio rondava 115,70 mg NH₄⁺ kg⁻¹ solo, sendo a modalidade onde se registaram resultados superiores em praticamente todo o ensaio. Contrariamente, a aplicação de sorelho resultou na imobilização do azoto amoniacal nos primeiros dias do ensaio, sendo que este apenas começa a ser disponibilizado, e de forma bastante lenta e diminuta, a partir do dia 15.

No que respeita à comparação das modalidades Chorume e Sorelho+Chorume, foi possível observar que nos primeiros dias do ensaio estas apresentavam resultados estatisticamente diferentes (P<0,05) sendo que da acidificação resultou a menor disponibilização de azoto amoniacal para a planta, contrariamente ao que normalmente acontece quando se procede à acidificação com recurso a ácido sulfúrico, descrito por Regueiro et al. (2016a), devido à imobilização provocada pelo sorelho. Segundo Sorensen e Eriksen. (2009), a acidificação do chorume não influencia as concentrações azotadas presentes no chorume, portanto estes resultados parecem mostrar que as discrepâncias entre as modalidades em que se aplicou chorume são o resultado de diferenças de interação entre o chorume e o solo.

Ao dia 5 de incubação, ainda que estatisticamente diferentes, os resultados obtidos começam a mostrar ser mais semelhantes entre as modalidades ensaiadas relativamente ao primeiro dia do ensaio. As maiores discrepâncias relativamente ao dia 1 evidenciam-se entre as modalidades Chorume e Sorelho + Adubo, que mostram agora não ser significativamente diferentes. A concentração de NH₄⁺ nessa modalidade reduz-se drasticamente entre estes dias de incubação, pelo contrário a mesma concentração começa a aumentar na modalidade de chorume acidificado e de Sorelho 100%N.

Decorridos 22 dias de incubação, os resultados obtidos entre todas as modalidades mostram não ser agora estatisticamente diferentes e o mesmo mantém-se até ao final da incubação, sendo que a partir do dia 44, em todos os tratamentos as concentrações de NH₄⁺ se aproximam de zero.

Os resultados da variação da concentração de azoto nítrico nas diferentes modalidades ensaiadas ao longo dos 92 dias de incubação encontram-se descritos na **Figura 26**.

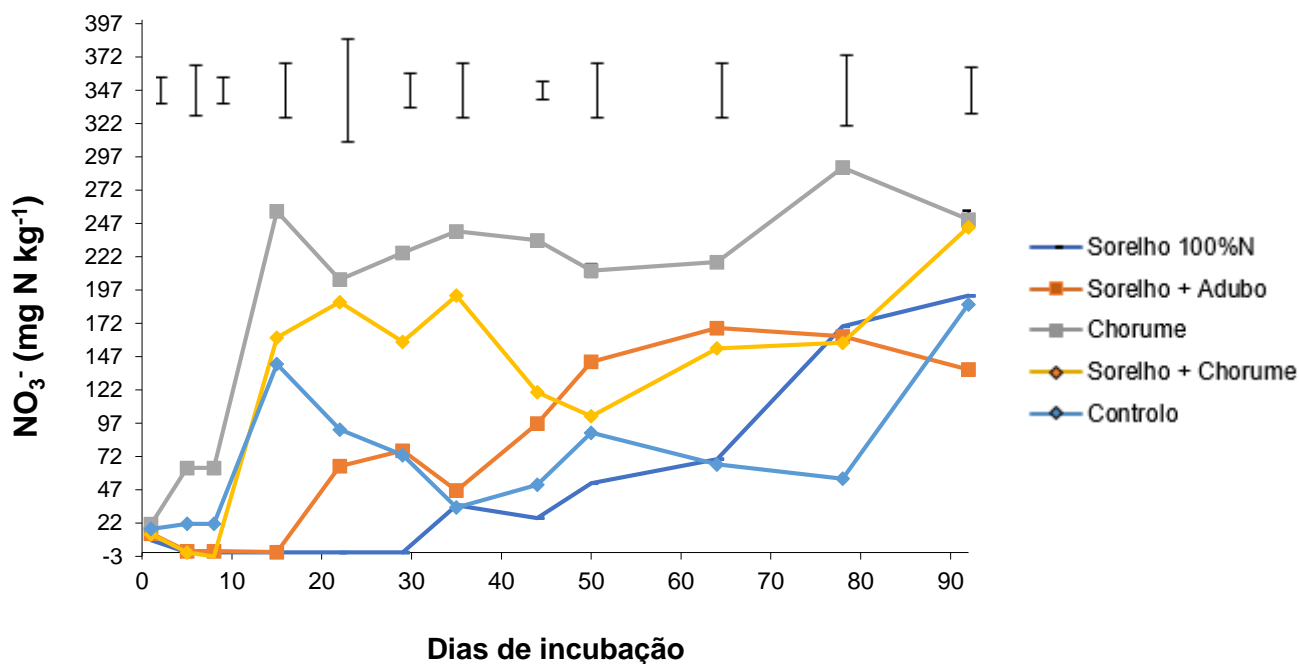


Figura 26 – Variação da concentração de NO_3^- no solo para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação ($n=3$).

No dia da primeira amostragem não se observaram diferenças significativas entre as modalidades, contrariamente ao observado no azoto amoniacal. As diferenças estatísticas aparecem na segunda amostragem (dia 5) em que na modalidade em que foi aplicado chorume não tratado se evidenciam concentrações superiores de azoto na forma nítrica e estatisticamente diferentes de Sorelho + Chorume e Sorelho 100%N, o que corrobora com os resultados de estudos anteriores que afirmam as diferenças na concentração de nitratos nos solos fertilizados com chorume não tratado e com chorume tratado (Hjorth et al., 2015).

Comparando as modalidades que contém chorume, comprova-se o descrito em Fangueiro et al., 2015b, que a acidificação retarda a nitrificação. Na modalidade em que foi aplicado chorume acidificado o azoto nítrico só começa a ser disponibilizado passados 8 dias de incubação, sendo que a partir desse dia a concentração de azoto nítrico no solo aumenta consideravelmente atingindo $310,68 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ no dia 35. Depois desse dia os valores mostram ser sempre inferiores ao do chorume não tratado. Os efeitos do chorume acidificado sob a nitrificação são uma vantagem para manter os níveis de nitrato no solo e evitar a sua lixiviação sob a forma de NO/NO_2 ou emissões de NH_3 .

Todos os tratamentos apresentam um aumento na concentração de NO_3^- até ao décimo quinto dia de incubação exceto Sorelho 100%N, verificando-se que neste, o teor de azoto nesta forma só se apresenta diferente de zero a partir do dia 30, em que aumenta de forma gradual até ao fim do ensaio. Esta evidência sugere a existência de desnitrificação nessa modalidade ao longo do primeiro terço do ensaio.

Os teores de NO_3^- no solo de todas as modalidades tendem a estabilizar no final do ensaio, excetuando do chorume não tratado que se mantém como a modalidade em que a concentração de azoto nítrico é superior, à semelhança do início do estudo.

4.5.2 Mineralização líquida e mineralização líquida aparente

Depois da análise da variação da concentração de azoto amoniacal e nítrico no solo ao longo do período de incubação, é também importante estudar a mineralização líquida, considerando o azoto mineral existente no solo em $T_0=0,869 \text{ mg N/kg solo}$.

Os resultados são apresentados na **Figura 27**.

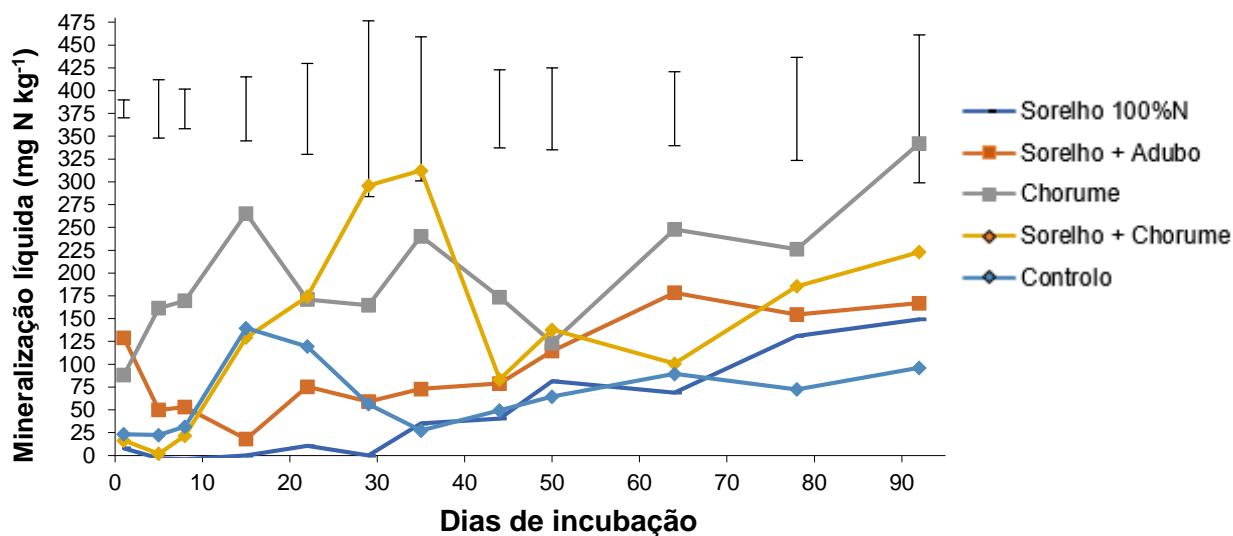


Figura 27 – Variação da mineralização líquida para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3).

À semelhança do que acontece quanto à variação da concentração de azoto amoniacal, no início do ensaio em todas as modalidades os resultados obtidos são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$).

No primeiro dia de amostragem, a mineralização na modalidade Sorelho + Adubo era a mais elevada entre os tratamentos ensaiados, o que pode ser justificado pela quantidade de azoto veiculada através do Sulfato de Amónio, que se encontra automaticamente disponível para ser utilizado por ser aplicado sob a forma mineral (contrariamente ao azoto veiculado pelo chorume e sorelho sob a forma orgânica, que necessita ser mineralizado (Santos, 2001)). Até ao dia 15 a concentração vem diminuindo gradualmente, sendo que depois desse dia volta a aumentar de forma mais ou menos gradual até ao dia 64, sofrendo até ao final do ensaio uma ligeira diminuição.

Os 3 tratamentos – Controlo, Sorelho + Chorume e Sorelho 100%N – são estatisticamente semelhantes no início do ensaio, sendo aqueles em que se observa menor concentração de azoto mineral no solo durante grande parte do ensaio (o que não acontece no término da incubação).

A partir do dia 8 de incubação, em todas as modalidades, se observa um aumento mais ou menos constante do azoto mineralizado no solo.

Na modalidade em que foi aplicado somente sorelho, a mineralização apenas se inicia ao dia 15, o que vem apontar para a existência de imobilização do azoto durante esse período do ensaio. A partir daí a concentração aumenta até ao final do ensaio, sendo que a concentração de azoto mineralizado ronda 180 mg/kg solo.

Quanto ao chorume acidificado, o azoto presente é rapidamente mineralizado entre os dias 8 e 35, sendo que depois a sua concentração sofre uma diminuição mais ou menos acentuada. Observam-se diferenças significativas entre as modalidades em que foi aplicado chorume, sendo que no caso do chorume acidificado o teor de azoto mineral é substancialmente inferior ao do chorume não tratado em praticamente todo o ensaio, o que comprova que, o processo de acidificação do chorume com sorelho, conduz à imobilização do azoto presente durante o período imediatamente a seguir à aplicação. A partir do dia 35, as modalidades chorume não tratado e chorume acidificado com sorelho começam a mostrar-se estatisticamente semelhantes, o que se mantém até ao final do ensaio em que mostram ser estatisticamente semelhantes.

No fim do ensaio em nenhuma das modalidades existiam diferenças estatisticamente significativas, apesar disso o valor mais elevado observado quanto à mineralização líquida é o da modalidade Chorume.

Por comparação com o Controlo (em que não foi efetuada qualquer adubação), determinou-se a variação da mineralização líquida aparente para os restantes tratamentos., cujos resultados estão presentes na **Figura 28**.

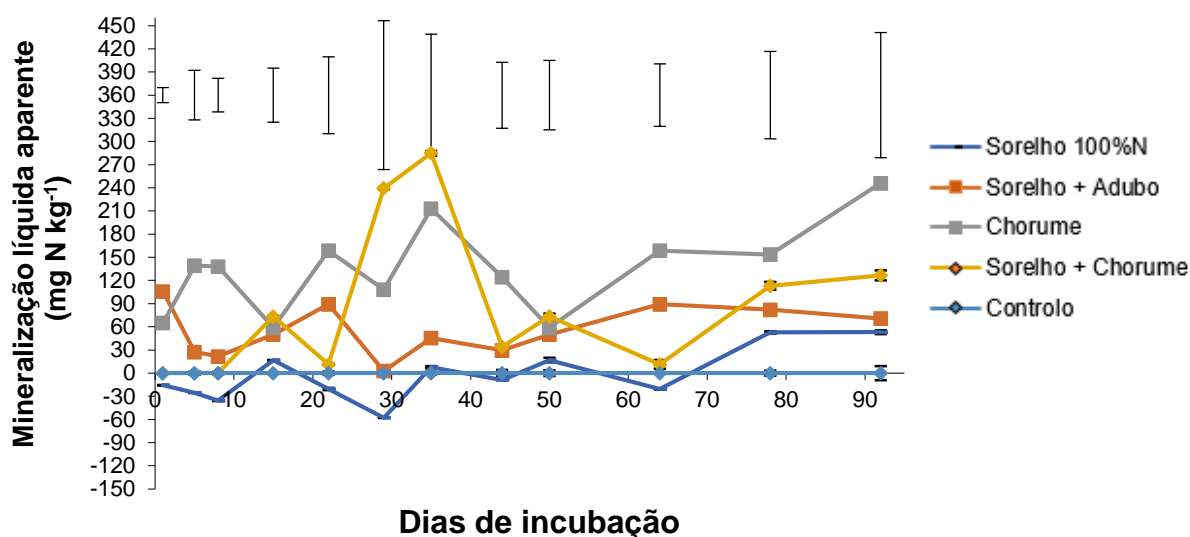


Figura 28 – Variação da mineralização líquida aparente para os 5 tratamentos considerados ao longo do ensaio de incubação. As barras verticais no cimo da figura representam o erro padrão médio utilizado no tratamento estatístico, em determinado dia de incubação (n=3).

Após a observação da **Figura 28** é possível concluir que nos primeiros dias de incubação as modalidades que contêm chorume e a mistura de sorelho com adubo responderam positivamente à adubação realizada ou seja, ainda que de forma pouco constante, a mineralização ocorre nestas modalidades.

Como já tinha sido referido anteriormente, nos tratamentos Sorelho 100%N confirma-se a ocorrência imobilização no primeiro terço do ensaio de incubação, significando por isso que o sorelho afeta diretamente a dinâmica de azoto no solo durante os primeiros dias após a sua aplicação (apesar disso não se verificar na modalidade conjugada com adubo).

Os resultados obtidos para o pH e Condutividade Elétrica do solo ao longo do ensaio de incubação podem ser consultados na secção **8.1 – Anexos**.

5. Síntese e conclusões

Os resultados do ensaio em vasos com azevém italiano (*Lolium multiflorum*) mostram que:

- A produção de matéria verde e seca foi superior com a aplicação ao solo de Azoto Mineral e inferior com Sorelho 250%N com resultados estatisticamente diferentes entre as modalidades ensaiadas. No caso do chorume não tratado e do chorume tratado, ainda que os resultados tenham sido ligeiramente superiores no caso do chorume acidificado com sorelho estas diferenças não são estatisticamente significativas, apesar dos diferentes teores de azoto aplicados nas duas modalidades;
- A aplicação da segunda cobertura com sorelho tem resultados negativos quanto à produção vegetal, nomeadamente nas modalidades em que foi aplicada maior quantidade deste material resultando em plantas totalmente secas, que imediatamente após a adição cessaram o seu crescimento;
- A concentração de azoto na Matéria Seca não tem resultados estatisticamente diferentes entre cortes nem entre modalidades ensaiadas, contudo a concentração desce no 3.º corte após o aumento entre o 1.º e 2.º cortes. Esta redução pode dever-se à fase de espigamento em que a maioria das plantas já se encontravam.
- O comprimento e pesagem das raízes foi inferior no tratamento Sorelho 250%N, o que revela deficiências no desenvolvimento radicular das plantas nessa modalidade. Ambos os indicadores são estatisticamente semelhantes em Sorelho 100%N e Chorume;
- A quantidade de azoto exportada pela planta é superior em Azoto Mineral e inferior em Sorelho 250%N, sendo que esta origina resultados inferiores à não aplicação de qualquer adubação de cobertura, o que confirma o impacto negativo dessa dose de sorelho na produção vegetal.
- A eficiência de exportação no total da planta é estatisticamente semelhante nas modalidades em que foi aplicado ao solo chorume, o que confirma que a acidificação com sorelho não compromete a disponibilização de azoto para as plantas.
- A concentração dos iões Na^+ e Ca^{2+} no solo é superior nos tratamentos em que foi utilizado sorelho, o que pode ser revelador de salinização e/ou sodização do solo.
- A Condutividade Elétrica do solo aumentou substancialmente ao longo do ensaio em vasos nas modalidades com sorelho, o que não acontece no caso do chorume acidificado com o mesmo. Apesar de verificado esse aumento, não atinge os níveis de salinização limite propostos pela FAO (Food and Agriculture Organization). Contudo, ao observar-se a Percentagem de Sódio Trocável, esta é muito superior

em Sorelho 200%N e 250%N, ao descrito na FAO (Food and Agriculture Organization) como limiar para a existência de solos salinos.

Do ensaio de incubação retiram-se as seguintes conclusões:

- A aplicação isolada de sorelho resulta na imobilização de azoto amoniacal durante os primeiros 15 dias do ensaio;
- Da acidificação do chorume resultou menor concentração de azoto amoniacal no solo quando comparado com o chorume não tratado devido à imobilização provocada pelo sorelho;
- A nitrificação é retardada no caso do chorume acidificado, o que é uma vantagem relativamente à aplicação de chorume não tratado ao solo por permitir reduzir a lixiviação de nitratos;
- O teor de azoto mineral no solo é muito superior no caso do chorume bruto quando comparado com o chorume tratado ao longo praticamente de todo o ensaio, contudo no final do ensaio estes mostram ser semelhantes, o que pode ser justificado pelo atraso da nitrificação;
- Do mesmo modo que no ensaio em vasos, a Condutividade Elétrica aumenta substancialmente nos casos de aplicação de sorelho, mas esta não indica salinização do solo.

Relativamente ao ensaio de emissões de amoníaco conclui-se que da mistura do chorume ao sorelho resulta a inibição total das emissões de NH_3 ao longo do período de ensaio, que já seria de prever uma vez que ocorre acidificação para valores de pH inferiores a 5,5. A utilização do sorelho como acidificante pode ser assim uma alternativa viável para combater, em parte, o efeito poluente do chorume sem despender dinheiro na aquisição de ácido sulfúrico ou sulfato de alumínio, que habitualmente são utilizados para este efeito.

6. Perspetivas futuras

Nesta dissertação pretendeu-se conjugar a utilização de dois resíduos potencialmente poluentes com origem em boviniculturas leiteiras e indústrias de laticínios. O chorume como resíduo orgânico tremendamente utilizado como fonte de azoto e matéria orgânica para os solos, mas que contribui fortemente para a contaminação dos mesmos e poluição atmosférica, com emissão de amoníaco, e, o sorelho que constitui um problema para as empresas produtoras de queijo devido à não existência de valorização, sendo deixado apenas em aterro.

Este estudo pode contribuir para alterar, em parte, o destino dado ao sorelho mostrando assim às unidades industriais que pode ter uma utilização, mais ou menos, viável dependendo da distância das explorações pecuárias produtoras de chorume.

Em trabalhos futuros seria interessante estudar modalidades com outras quantidades de sorelho aplicado ao solo, tentando reduzir o impacto na estrutura do solo e conseqüentemente na produção vegetal.

Posteriormente a este trabalho seria necessário partir para a experiência de campo, de modo a verificar resultados e compará-los com os obtidos nesta dissertação. Avaliar a viabilidade económica da aplicação direta de sorelho ao solo e do processo de acidificação do chorume com sorelho à escola real seria também importante.

7. Referências bibliográficas

- Adams, A. and Attiwill, P., 1986. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia - II. Indices of nitrogen mineralization. *Plant and Soil*. 92.
- Bernet, N. and Béline, F., 2009. Challenges and Innovations on Biological Treatment of Livestock Effluents. *Bioresource Technology* 100(22): 5431–36.
- Bergmann, W., 1992. *Nutricional Disorders of plants*. Gustav Fischer, p. 386.
- Bicudo, J.R., 1999. A exploração leiteira compatível com o ambiente. *Holstein* 15:56-62.
- Bond, A. J. and Morrison-Saunders, A., 2011. Re-Evaluating Sustainability Assessment: Aligning the Vision and the Practice. *Environmental Impact Assessment Review* 31(1): 1–7.
- Boswell, F. C., Meisinger, J. J. and Case N. L., 1985. Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers. Engelstad, o. P. (ed.). *Fertilizer Technology and Use*. 3^a ed., Soil Science Society of America, Wisconsin, 229-292 p.
- Brundtland, G., 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford paperbacks Report of: 400.
- Burton, C.H. and Turner, C., 2003. *Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture*. 2nd edition, Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, 451 pp.
- Carvalho, F., Prazeres A., and Rivas J., 2013a. Cheese Whey Wastewater: Characterization and Treatment. *Science of The Total Environment* 445: 385–96.
- Cordovil, C., 2004. Dinâmica do azoto na reciclagem de resíduos orgânicos aplicados ao solo. Alfragide: Instituto do Ambiente.
- Costa, C. M., 2014. Soro do leite e os danos causados ao meio ambiente. X Encontro Brasileiro sobre adsorção, Guarujá.
- Crespo, D.G., 2006. O Papel das Pastagens Biodiversas Ricas em Leguminosas na Reabilitação da Agricultura Alentejana e na Qualidade dos seus Produtos Tradicionais. Ruraltec, Universidade de Évora, Évora.
- Demirel, B., Orhan Y., and Onay T., 2005. Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters: A Review. *Process Biochemistry* 40(8): 2583–95.

Deng, J., 2016. Extraction Optimization of Polyphenols from Waste Kiwi Fruit Seeds (*Actinidia Chinensis* Planch.) and Evaluation of Its Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties. *Molecules* 21(7).

Dias, J., and Silva, D., 2004. Código De Boas Práticas Agrícolas. Lisboa: Reciclamas: 53. Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva

Egnér, H., Riehm, H. and Domingo, W., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *K. Lantbrukshögskolan Ann.* 26, 199–215.

Eriksen, J., Sorensen and P., Elsgaard, L., 2008. The fate of sulfate in acidified pig slurry during storage and following application to cropped soil. *Journal of Environmental Management.* Qual. 37, 280–286.

Fangueiro, D., Ribeiro, H., Coutinho, J., Cardenas, L., Trindade, H., Cunha-Queda, C., Vasconcelos, and E. Cabral F., 2010. Nitrogen mineralization and CO₂ and N₂O emissions in a sandy soil amended with original or acidified pig slurries or with the relative fractions. *Biology and Fertility of Soils* 46, 383e391.

Fangueiro, D., Ribeiro, H.M., Vasconcelos, E., Coutinho, J. and Cabral, F., 2012. Influence of animal slurries composition and relative particle size fractions on the C and N mineralization following soil incorporation. *Biomass and Bioenergy* 47, 50–61.

Fangueiro, D., Surgy, S., Napier, V., Menaia, J., Vasconcelos, E. and Coutinho J., 2014. Impact of slurry management strategies on potential leaching of nutrients and pathogens in a sandy soil amended with cattle slurry. *Journal of Environmental Management.* 146, 198–205.

Fangueiro, D., Surgy, S., Fraga, I., Cabral, F. and Coutinho J., 2015. Band application of treated cattle slurry as an alternative to slurry injection: Implications for gaseous emissions, soil quality, and plant growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 211, 102–111.

Fangueiro, D., Hjorth, M. and Gioelli, F., 2015a. Acidification of Animal Slurry– a Review. *Journal of Environmental Management* 149: 46–56.

Farizoglu, B., Bulent K., Ergun Yi., and Alper N., 2007. Simultaneous Removal of C, N, P from Cheese Whey by Jet Loop Membrane Bioreactor (JLMBR). *Journal of Hazardous Materials* 146(1–2): 399–407.

Federici, F., Fava F., Kalogerakis N., and Mantzavinos D., 2009. Valorisation of Agro-

Industrial by-Products, Effluents and Waste: Concept, Opportunities and the Case of Olive Mill Waste Waters. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 84(6): 895–900.

Gonçalves, M., 1983. *Análise de soluções*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

Gonçalves, M., 2005. *Gestão de Resíduos Orgânicos*, 1ª Edição. Porto: Sociedade Portuguesa da Inovação.

Gutiérrez, J., Encina P., and Polanco, F., 1991. Anaerobic Treatment of Cheese-Production Wastewater Using a UASB Reactor. *Bioresource Technology* 37(3): 271–76.

Hasegawa, P., Bressan, R., Zhu, J., and Bohnert, H., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499.

Horneck, D. and Miller, R., 1998. Determination of Total Nitrogen in Plant Tissue. In: Kalra, Y.-P., Ed., *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Press, New York, 75-83.

Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J., Hansen, M., and Sommer, S., 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy* 28, pp. 148-154.

Kuhnen, F., 2013. *Mineralização de nitrogênio de solo e de resíduo orgânico em laboratório e em campo*. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal

Lopes, V., Nogueira A., and Fernandes, A., 2006., *Cultura de Azevém Anual*. (53): 1–4.

Macedo, A., Martins A., Ferro, S., Santos, T., Pinho, M., Geraldés, V., Duarte, E., Martins, M., Dias, J., Alvarenga, N., Bernardo, F., Silva, C. I., Cascalheira D., Canada, J. and Alvarenga N., 2005. *Aplicação de tecnologias de membranas na valorização de subprodutos resultantes do fabrico do Queijo Serpa*. Relatório de Progresso Final do Projecto Agro nº 327. Escola Superior Agrária, Beja. 45 pp.

Macedo, S., 2013 *Avaliação do impacto ambiental de novas estratégias de gestão de chorumes para minimização de perdas de nutrientes e aumento da produção*, - Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Macedo, A., Duarte E., and Fragoso R., 2015. Assessment of the Performance of Three Ultrafiltration Membranes for Fractionation of Ovine Second Cheese Whey. *International Dairy Journal* 48: 31–37.

Macedo, A. and Morais, N., 2017. Avaliação do desempenho de duas membranas de ultrafiltração para a separação da fração proteica de soro de ovelha: processos de ultrafiltração/diafiltração. *ResNet Health* 3, spta27.

Makara, A., and Kowalski Z., 2018. Selection of Pig Manure Management Strategies: Case Study of Polish Farms. *Journal of Cleaner Production* 172: 187–95. hMarmo, L., Feix, I., Bourmeau, E., Amlinger, F., Bannick, C.G., de Neve, S., Favoino, E., Gendebien, A., Gilbert, J., Givelet, M., Leifert, I., Morris, R., Rodriguez Cruz, A. Ruck, F., Siebert, S. and Tittarelli, F., 2009. Task Group 4 on Exogenous Organic Matter, Organic Matter and Biodiversity. EU.

Marschner, H., 1986. Mineral nutrition in higher plants. Wd Ltd. The Greystone Press, Antrim, Northern Ireland.

Martí, F.B. and Muñoz, J.R., 1957. Flame Photometry: A Manual of Methods and Applications. Elsevier.

Martinelli, A., 2007. Os caminhos do nitrogênio - do fertilizante ao poluente, *Informações agronômicas*, número 118.

Mizubuti, I., 1994. Soro de leite: composição, processamento e utilização na alimentação. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 15, n. 1, p. 80-94, 1994.

Munns, R., 2002 Comparative Physiology of Salt and Water Stress. *Plant Cell Environment*, 25, 239-250.

Pedrotti, A.; Chagas, R.; Ramos, V.; Prata, A.; Lucas, A. and Santos, P., 2015. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, mai./ago. 2015.

Pereira, D., Diaz O., and Cobos A., 2002. Valorization of By-Products from Ovine Cheese Manufacture: Clarification by Thermocalcic Precipitation/Microfiltration before Ultrafiltration. *International Dairy Journal* 12(9): 773–83.

Pintado, M., Silva, J., and Malcata F., 1996. Characterization of Requeijão and Technological Optimization of Its Manufacturing Process. *Journal of Food Engineering* 30(3–4): 363–76.

Pintado, M. and Teixeira, J., 2015. Valorização de Subprodutos Da Indústria Alimentar: Obtenção de Ingredientes de Valor Acrescentado. *Boletim de Biotecnologia*: 10–12.

Pereira, J., 2005. Manipulação de Efluentes de Bovinicultura: Pré-Tratamento e

Aplicação ao Solo. Tese de Mestrado em Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Póvoas, I. and Barral, M.F., 1992 - Métodos de análise de solos. Lisboa, Instituto de Investigação Científica Tropical, Ministério do Planeamento e da Administração do Território. 61 p. (Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias, Nº 10).

Prazeres, A., Carvalho F., and Rivas J., 2012. Cheese Whey Management: A Review. *Journal of Environmental Management* 110: 48–68.

Ramos, T., 2017. Chemical and organic amendments in reclamation of saline-sodic soil in greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*: 38–39.

Regueiro, I., Coutinho J., and Fangueiro D., 2016. Alternatives to Sulfuric Acid for Slurry Acidification: Impact on Slurry Composition and Ammonia Emissions during Storage. *Journal of Cleaner Production* 131: 296–307.

Rodrigues, M., and Coutinho J., 2000. 47 Edição do Instituto Politécnico de Bragança Eficiência de Utilização Do Azoto Pelas Plantas.

Santos, J., 2001. Fertilização e Ambiente - Reciclagem agro-florestal de resíduos e efluentes. Mem Martins: Publicações Europa-América.

Stanford, G. and Smith, S., 1972. Nitrogen Mineralization Potential of Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36, 465-472.

Tasca F., Ernani P., Rogeri D., Gatiboni L. and Cassol P., 2011. Volatilização de amónia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *R. Bras. Ci. Solo*, 35: 493-502.

Varenes A., 2003. Produtividade dos solos e ambiente. 1ª. Ed., Escolar Editora.

Web Bibliografia

INETI (2001), Figura 12 – Diagrama do processo de fabrico de requeijão - [consultado a 20 de março 2018] Obtido de www.netresiduos.com/Handlers/FileHandler.ashx?id=356&menuid=111

www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/problematICA_aguas_residuais_queijarias_seia_oliveira_hospital.pdf. [consultado em 25 de abril 2018]

Agência Portuguesa do Ambiente
www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=957&sub3ref=958

[consultado em 1 de maio 2018]

Portal Lacteo (2014). UFV quer colocar isotónico à base de soro de leite no mercado. Available at: <http://www.portalacteo.com.br/noticias/ufv-quer-colocar-isotonico-a-base-de-soro-de-leite-no-mercado-39959/> [consultado em 8 de maio, 2018].

Milk Market Observatory, 2015. *TOP 10 Importers*,
MilkPoint.PT, (2015). Aplicação de produtos derivados de soro na fabricação de requeijão com teor reduzido de gordura. Obtido de: <http://www.milkpoint.com.br/industria/radar-tecnico/queijos/aplicacao-de-produtos-derivados-de-soro-na-fabricacao-de-requeijao-com-teor-reduzido-de-gordura-92942n.aspx> [consultado em 7 de maio, 2018].

Portal Lacteo, (2012). Soro de leite é foco de pesquisa para alimentos funcionais. Obtido de: <http://www.portalacteo.com.br/noticias/soro-de-leite-e-foco-de-pesquisa-para-alimentos-funcionais-2917/> [consultado em 12 de maio, 2018].

INE (2012), Quadro 7.8 - Consumo de matérias-primas pela indústria de alimentos compostos para animais e produção obtida – [consultado a 1 de junho 2018] Obtido de https://www.ine.pt/nqt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=162283087&att_display=n&att_download=y

INE (2017), Quadro 2.2 - Recolha, tratamento e transformação do leite. – [consultado a 1 de maio 2018] Obtido de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpui_b_boui=320461359&PUBLICACOESmodo=2

INE (2017), Quadro 2.4 - Efetivos bovinos por NUTS II, em 2015. – [consultado a 1 de maio 2018] Obtido de https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpui_b_boui=320461359&PUBLICACOESmodo=2

FAO, 1989. Obtido de <http://www.fao.org/3/a-t0162e.pdf> [consultado em 15 de agosto 2018]

8. Anexos

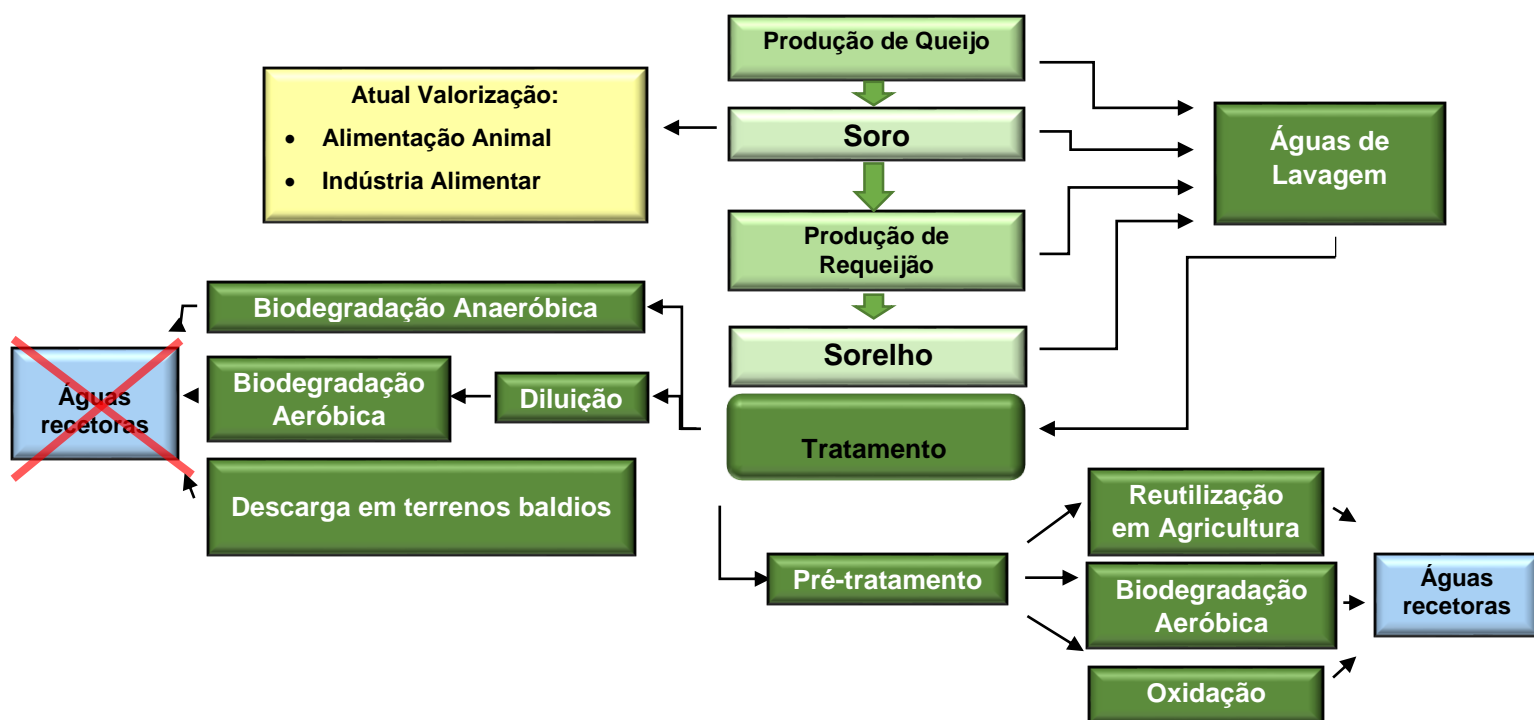


Figura 8.1 – Processamento e tratamento de sorelho (adaptado de Carvalho et al., 2013).

Quadro 8.1 – Calendário de Amostragem do Ensaio de Incubação e determinações efetuadas em cada amostragem.

Amostragem		Dia de incubação	Azoto Mineral	Teor de Humidade	pH e CE
Número	Data				
	27/06/2018	0	Instalação		
1	28/06/2018	1	X	X	X
2	02/07/2018	2	X	X	
3	05/07/2018	3	X	X	X
4	12/07/2018	15	X	X	
5	19/07/2018	22	X	X	X
6	26/07/2018	29	X	X	
7	01/08/2018	35	X	X	X
8	10/08/2018	44	X	X	
9	16/08/2018	50	X	X	X
10	30/08/2018	64	X	X	
11	13/09/2018	78	X	X	X
12	27/09/2018	92	X	X	X

8.1 Evolução do pH e Condutividade Elétrica do solo ao longo do ensaio

Os resultados do pH do solo nas diferentes modalidades ao longo do ensaio de incubação encontra-se descrita no **Quadro 8.2**.

Quadro 8.2 – Média dos valores obtidos para o pH no solo nos diferentes tratamentos ao longo do período de incubação considerado. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

Modalidades	pH							
	Dias de incubação							
	Instalação	1	8	22	36	57	78	92
Sorelho 100% N	6,33	6,39 ^{bc}	5,88 ^c	6,25 ^a	6,44 ^a	6,36 ^{ab}	6,48 ^a	6,4 ^a
Sorelho + Adubo		6,26 ^c	5,93 ^{bc}	5,96 ^a	6,02 ^b	6,05 ^b	5,78 ^b	5,74 ^b
Chorume		7,34 ^a	6,36 ^{ab}	6,18 ^a	5,95 ^b	5,94 ^b	5,96 ^{ab}	5,95 ^{ab}
Sorelho + Chorume		6,39 ^{bc}	6,78 ^a	6,23 ^a	6,05 ^b	5,95 ^b	6,20 ^{ab}	6,10 ^{ab}
Controlo		6,67 ^b	6,60 ^a	6,16 ^a	6,58 ^a	6,59 ^a	6,20 ^{ab}	6,17 ^{ab}

Entre o primeiro e o último dia do ensaio, em todas as modalidades ocorreu abaixamento do pH, ainda que os resultados não tenham sido estatisticamente diferentes após o tratamento dos dados em algumas das modalidades.

Olhando para o período de incubação considerado, nos solos em que foi aplicado somente sorelho não se observam alterações significativas ao longo de todo o ensaio, o mesmo aconteceu com aplicação de chorume acidificado, cujos valores se aproximam, em ambos os casos, da neutralidade.

Da utilização de chorume não tratado resultou uma diminuição do pH, com resultados estatisticamente diferentes entre o primeiro e último dia do ensaio, à semelhança dos resultados de estudos realizados por Berenguer et al., 2008. Nas modalidades em que foi aplicado chorume os resultados no final do ensaio não mostram ser estatisticamente diferentes entre si.

A evolução da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$) no solo nas diferentes modalidades ao longo do ensaio de incubação encontra-se descrita no **Quadro 8.3**.

Quadro 8.3 – Média dos valores obtidos para a Condutividade Elétrica do solo nos diferentes tratamentos ao longo do período de incubação considerado. Colunas com letras diferentes são estatisticamente diferentes à $P < 0,05$.

		Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)						
Modalidades	Dias de incubação							
	Instalação	1	8	22	36	57	78	92
Sorelho 100% N	64,26	835,33a	2095,87a	393,57a	1122,80a	1409,03a	1505,37a	1300a
Sorelho + Adubo		751,73a	903,47a	947,37a	1200,70a	703,33ab	1037,80a	936,90b
Chorume		165,87b	235,80a	333,80a	484,17a	405,03ab	795,80a	600,54c
Sorelho + Chorume		598,43a	455,20a	818,17a	1568,80a	719,47ab	557,57a	446,98c
Controlo		38,70b	60,79a	89,14a	43,92a	48,17b	206,81a	113,34d

À semelhança do observado no ensaio em vasos, os valores mais elevados, no que respeita à Condutividade Elétrica dos solos, resultam da aplicação de sorelho, o que já seria expectável uma vez que este resíduo apresenta elevada concentração dos iões Na^+ e Ca^{2+} e, conseqüentemente elevada salinidade que como se comprovou tem implicações na condutividade elétrica do solo. Contudo, apesar de contribuir para o aumento da Condutividade Elétrica não conduz à salinização do solo, uma vez que o seu valor mais elevado é obtido no dia 8, de 2095,87 $\mu\text{S/cm}$, o que é bastante inferior ao limiar proposto pela FAO, 1997 (4000 $\mu\text{S/cm}$).

As modalidades mostram ser estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) essencialmente no final do ensaio. Nesse período, os tratamentos que contêm chorume mostram ser semelhantes entre si, tal como acontece com a análise do pH do solo mostrando que a acidificação do chorume com recurso a sorelho não tem implicações na Condutividade Elétrica do solo.