



Adubação com azoto, fósforo, potássio e boro num lameiro de Trás-os-Montes

Crodinilson Insumbo

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre Agroecologia*

Orientado por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Coorientado por

Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues

BRAGANÇA
2021

Á memoria do meu irmão

Gregório Insumbo

Á memoria dos meus tios, avós e avôs

Lester Indequê e Mariza Indequê (que Deus os tenha)

Aos meus pais Raúl Insumbo, Matilde Insali e Rene Insali, meu irmão Aider Insumbo a
toda minha família e amigos em geral

Dedico este trabalho

Agradecimentos

Agradeço Deus pelo dom de vida, oportunidade de realizar este trabalho, pela força de todos os dias.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues e Professora Doutora Margarida Arrobas Pereira Rodrigues, por me aceitarem como o seu orientado e partilhar todos os seus conhecimentos, pela sábia paciência e dedicação nas suas orientações.

Ao Instituto Politécnico de Bragança e ao seu presidente Orlando Isidoro Afonso Rodrigues e todos os colaboradores.

À colega do laboratório Soraia Raimundo, por me ter ajudado e orientado no trabalho laboratorial.

Aos dois clubes onde passei, através dos quais obtive apoio financeiro que me permitiu realizar esse sonho, Sport Clube de Odemirense e AEAB FC IPB.

À direção da Escola Superior da Agrária de Bragança e todos os meus professores e professoras.

Aos amigos da associação académica, núcleo de estudantes guineenses em Bragança e associação dos estudantes africanos em Bragança.

Aos meus colegas do curso e todos aqueles que contribuíram de uma forma direta ou indireta para este efeito, agradeço no fundo de coração.

Índice

Agradecimentos	iii
Índice	v
Índice de figura.....	x
Índice de quadros.....	xi
Resumo.....	xii
Abstract	xiii
Introdução.....	1
1. Tipos de pastagens, manejo e fertilização	2
1.1. Pastagens	2
1.1.1. Importância das pastagens	4
1.1.2. Valor alimentar das pastagens	4
1.1.3. Pastagens seminaturais.....	6
1.1.4. Pastagens melhoradas	6
1.1.5 Técnicas de gestão de pastagens	6
1.2 A fertilização das Pastagens	7
1.2.1. Azoto	9
1.2.2. Fósforo	11
1.2.3. Potássio	12
1.2.4. Boro	13
1.2.5. Efeito da aplicação de fertilizantes na produtividade e qualidade das pastagens	14
1.3. Caracterização dos lameiros	15
2. Materiais e métodos	17
2.1 Localização do ensaio.....	17
2.2. Clima.....	17
2.2. Caracterização do solo	17

2.4. Delineamento experimental	18
2.5. Colheita de amostras de plantas e solos.....	18
2.7. Análise de dados	23
3. Resultados	23
3.1. Produção de matéria seca.....	23
3.2. Exportação de nutrientes na matéria seca	24
3.3. Eficiência de uso dos nutrientes	28
3.4. Propriedades do solo	29
4. Discussão	34
5. Conclusões.....	35
Referências.....	36

Índice de figuras

Figura 1: Moinho Cyclotec para moenda de amostras de tecidos vegetais.....	19
Figura 2: Equipamento Kjeltex TM 8400 Analyser unit FOSS	20
Figura 3: Equipamento PYE Unicam PU 9100X.....	21
Figura 4: Espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda.....	22
Figura 5. Produção de matéria seca anual acumulado de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e nos cortes de biomassa do Abril de 2020 (I2019) e em Junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes.....	24
Figura 6. Azoto recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de Abril de 2020 (I2019) e de Junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes.....	25
Figura 7. fósforo recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes cortes de Abril de 2020 (I2019) e de Junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes..	26
Figura 8. Potássio recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de Abril de 2020 (I2019) e de Junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes.....	27
Figura 9. Boro recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de Abril de 2020 (I2019) e de Junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes.....	28
Figura 10. Carbono orgânico no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.	29
Figura 11. pH em água no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.	30
Figura 12. Fósforo no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.	31
Figura 13. Potássio no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.	32
Figura 14. Boro no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.	32

Figura 15. Capacidade de troca catiónica no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo.....	33
---	----

Índice de quadros

Quadro 1. Azoto, fósforo, potássio e boro aparentemente recuperados (%) nos talhões que receberam os nutrientes respetivos nos cortes de 2020 e no total do período experimental.....	21
---	----

Resumo

Os lameiros são a base da atividade pecuária na região de Trás-os-Montes através de pastoreio e corte de feno. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da fertilização de um lameiro na produção de matéria seca, no conteúdo em nutrientes na biomassa e na fertilidade do solo. O ensaio foi instalado na Primavera de 2013, tendo recebido anualmente o equivalente a 80 kg de azoto, 100 kg de potássio (K_2O), 150 kg de fósforo (P_2O_5) e 3 kg de boro até à primavera de 2020. A aplicação de azoto aumentou significativamente a produção de matéria seca relativamente a qualquer um dos outros tratamentos. A testemunha não fertilizada originou valores significativamente mais baixos que os tratamentos que receberam fósforo, potássio ou boro. De uma maneira geral, a biomassa de um dado tratamento mostrou-se mais rica no nutriente aplicado nesse tratamento. A aplicação de fósforo, potássio e boro aumentaram a concentração desses nutrientes no solo. A matéria orgânica e o conteúdo em nutrientes no solo foram mais elevados na camada superficial, enquanto o pH se apresentou alcalino na camada superficial.

Palavras-chave: pastagem; produção de biomassa; composição elemental; fertilidade do solo

Abstract

Meadows are the basis of livestock production in the region of Trás-os-Montes through grazing and cut for hay. This study aimed to evaluate the effect of the fertilization of a meadow on the production of dry matter, on the nutrient content of biomass and on soil fertility. The experiment was installed in spring 2013, having received annually the equivalent of 80 kg of nitrogen, 100 kg of potassium (K₂O), 150 kg of phosphorus (P₂O₅) and 3 kg of boron until the spring of 2020. The application of nitrogen significantly increased dry matter yield compared to any of the other treatments. The unfertilized treatment gave significantly lower values than the other that received phosphorus, potassium or boron. In general, the biomass of a given treatment proved to be richer in the nutrient applied in the corresponding treatment. The application of phosphorus, potassium and boron increased the concentration of these nutrients in the soil. Organic matter and nutrient content in the soil were higher in the top layer, while soil pH was less alkaline in the surface layer.

Keywords: meadow; dry matter yield; plant elemental composition; soil fertility

Introdução

A população mundial tem vindo ao aumentar ao longo das últimas décadas, o que deixa os seres humanos preocupados sobre a forma de obter maior produtividade dos solos para satisfazer as suas necessidades nutricionais básicas. Mais alimentos são também necessários para atender às mudanças nos hábitos alimentares, crescentemente baseados em maior consumo de carne. Ao longo do tempo houve diversas transformações na agricultura e pecuária, de natureza tecnológica e científica, que diversificaram os modos de produção, e tornaram possível o aumento da produção de bens alimentares. Os lameiros localizam-se em áreas de montanha, sendo importantes para a produção vegetal e criação animal dos moradores locais. Os seus produtos destinam-se principalmente aos mercados locais, o que condiz com a redução da pegada ecológica devido à reduzida extensão dos circuitos comerciais. Os lameiros prestam diversos outros serviços ecológicos, servindo, por exemplo, de barreira física que impede a propagação dos incêndios e alimentando diversa fauna silvestre.

Do ponto de vista agronómico, os solos encontrados nessas áreas são de fertilidade variável, sendo também distinta a sua produtividade. Em acréscimo, há pouca experiência local sobre resultados de uma fertilização sistemática dessas pastagens, sendo esta a razão que motivou o presente estudo.

A estrutura desta tese divide-se em quatro capítulos principais. No capítulo 1 apresenta-se a revisão bibliográfica, nela são abordados diversos temas relacionados à importância da fertilização das pastagens. No capítulo 2 apresentam-se as metodologias utilizadas na execução do trabalho experimental (no campo e no laboratório) e os métodos estatísticos utilizados para o tratamento de dados. No capítulo 3 apresentam-se os resultados experimentais obtidos. No capítulo 4 é feita a discussão dos principais resultados fundamentando-os por comparação com estudos realizados por outros autores.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes tipos de fertilizantes em um lameiro situado em Bragança, na produção de matéria seca, na composição elementar da matéria seca e nas propriedades do solo.

1. Tipos de pastagens, manejo e fertilização

1.1. Pastagens

O pastoralismo é a forma mais antiga de aproveitamento da erva produzida e que simultaneamente proporciona bem-estar animal e oferta de maior segurança alimentar ao ser humano (Matos *et al.*, 2010).

Segundo Moreira (2002), culturas pratenses, prados ou pastagens, são culturas ou comunidades de plantas, geralmente herbáceas, aproveitadas predominantemente no próprio local em que crescem pelos animais em pastoreio. As pastagens, aproveitadas pelas várias espécies de animais de interesse zootécnico de distintas formas em função das suas especificidades anatómicas e fisiológicas, estão sujeitas a ações de desfoliação e pisoteio enquanto pastoreiam, repousam e são eventualmente suplementados.

Este conceito de pastagem cria uma estreita relação e uma dependência mútua, entre a produção animal com ruminantes e a produção de pastagens. Assim, as pastagens são constituídas por plantas de estatura baixa, porte prostrado a sub-prostrado, com resistência ao pastoreio e ao pisoteio dos animais. Em algumas regiões áridas ou semiáridas do Mediterrâneo (Sul da Europa ou Norte de África) a vegetação arbustiva denominada por arbustos forrageiros, não só é também utilizada na alimentação animal como constitui, nessas zonas mais problemáticas em termos de oferta alimentar, a base da dieta dos rebanhos quer sazonalmente quer durante a maior parte do ano (Moreira, 2002).

Os lameiros são pastagens de montanha de carácter permanente que podem ser consideradas seminaturais ou naturais, uma vez que não é utilizada a sementeira deliberada de espécies melhoradas (Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001). Encontram-se normalmente em locais com elevadas disponibilidades hídricas e solos de textura fina, com elevados teores de matéria orgânica que, quando encharcados e nus fazem abundante lama, característica que terá estado na origem da sua designação como “lameiros” (Vieira *et al.*, 2000; Pereira e Sousa, 2005).

Estas pastagens terão surgido durante a Alta Idade Média, em simultâneo com a fundação dos povoados de montanha (Moreira *et al.*, 2001), em resultado da destruição, pelo fogo ou por corte, dos matos e árvores que se desenvolviam junto a linhas de água em solos de boa qualidade. Esta ação terá sido complementada com espalhamento e

subsequente desenvolvimento de sementes colhidas dos fenos obtidos noutros lameiros (Pires *et al.*, 1994; Dries, 2001). Em Portugal, concentram-se principalmente nas regiões mais montanhosas de Trás-os-Montes, mas também na Beira Interior e Entre Douro e Minho, na proximidade das linhas de água e normalmente a cotas superiores a 700 – 800 m, constituindo um dos elementos mais típicos da paisagem.

A quantidade de biomassa produzido no lameiro e a cobertura permanente do solo ao longo do ano permite proteger o solo da erosão hídrica. Ao longo dos séculos, a pastagem nos lameiros tem sido um grande suporte na alimentação dos bovinos.

Nos sistemas de agricultura tradicionais, os lameiros encontravam-se intimamente interligados a outros agro-sistemas característicos da paisagem de montanha, nomeadamente as searas de centeio, as parcelas de cultivo de batata, essencialmente para produção de semente na região do Barroso, os baldios, as hortas e as zonas de floresta.

Esta diversidade de elementos paisagísticos refletia a adaptação à grande variabilidade ecológica das regiões onde normalmente ocorriam e, também, a indispensável multifuncionalidade em sistemas de agricultura que pouco contactavam com o exterior. Os lameiros atuavam como elemento indispensável na alimentação do gado bovino. As hortas, instaladas próximas das povoações, em solos de maior fertilidade e regadas, garantiam a produção para autoconsumo. As zonas de floresta asseguravam a produção de lenha e, os baldios e pastagens comunitárias eram aproveitados de forma mais ou menos extensiva na alimentação do gado (Rodrigues, 1996).

Nestes sistemas de agricultura eram frequentes e espontâneas as instituições, organizações e manifestações. Com forte sentido de vida coletiva, de solidariedade vicinal e de coesão social, com profundas raízes históricas, ocorrem vestígios de organizações comunitárias de tipo pastoril ou agro-pastoril de origem presumivelmente pré-romana, e que se apoiavam nas condições naturais da região, como a vezeira, o lameiro comunal, baldios e incultos de fruição comum, edifícios comuns, entre outros. Esta organização comunitária, porém, foi-se perdendo, dando lugar ao individualismo agrário, sobretudo com a progressiva tomada e substituição de áreas de baldios por áreas de cultivo de cereais, que se foram tornando propriedade individual, em particular para a cultura do milho nos séculos XVI e XVII, ou passando a perímetros florestais por nacionalização dos baldios, já no século XX (Caldas, 1998).

1.1.1. Importância das pastagens

São conhecidos diversos casos ao longo da história da civilização humana de desequilíbrios nos ecossistemas agrários pelo uso excessivo do solo por culturas aráveis em prejuízo das pastagens.

As vantagens de cultivar pastagens em rotação com culturas aráveis foram merecendo ao longo dos anos diversos reconhecimentos. O conceito *Ley farming*, introduzido por Stapledon e Davies (1942), vem elucidar as vantagens biológicas e ecológicas do sistema de agricultura onde inclui rotação de culturas aráveis com pastagens. Entre outras vantagens, destaca-se o fornecimento de azoto às culturas da rotação, a melhoria da estrutura do solo, a quebra do ciclo de doenças e pragas, o melhor controlo das infestantes e a diversificação das produções da empresa agrícola.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2015), estudos internacionais mostraram que a introdução de pastagens semeadas nas rotações cerealíferas determinou aumentos médios de 66% na produção de trigo numa importante região agrícola australiana. Os autores referem que as vantagens de culturas forrageiras para cobertura do solo (*cover crops*) em diferentes sistemas agrícolas e a contribuição para a sua sustentabilidade, nomeadamente o melhoramento do solo, a redução dos riscos de erosão e as vantagens para as culturas agrícolas, têm sido objeto de renovado interesse e investigação. Para além das culturas em rotação, o revestimento do solo com plantas forrageiras e pratenses em pomares e vinhas é uma técnica adoptada em certas regiões que foi também bastante desenvolvida em Portugal (Rodrigues *et al.*, 2015).

1.1.2. Valor alimentar das pastagens

Nutricionalmente, a massa forrageira é composta pela fração relativa ao conteúdo celular (os hidratos de carbono solúveis, a proteína solúvel, o azoto não proteico, os lípidos), e pela fração das paredes celulares, como celulose, hemicelulose e lenhina (Van Soest, 1967). No caso da erva da pastagem, a maior parte do produto bruto é degradada no rúmen, estimando-se apenas em 25% a que passa ao intestino delgado sem sofrer alterações (Minson, 1990). A disponibilidade nutricional da celulose e da hemicelulose decresce com a maturação das plantas pratenses, devido à lenhificação e, embora as

leguminosas apresentem menor proporção de paredes celulares do que as gramíneas para a mesma digestibilidade, o seu grau de lenhificação é superior (Van Soest, 1982).

A erva da pastagem é ainda uma fonte excepcionalmente rica em β -carotenos, os quais são precursores da vitamina A (McDonald *et al.*, 2010). Segundo vários estudos, a vitamina D pode estar presente na erva, mas em quantidades relativamente pequenas. Quando as plantas que se encontram na fase de crescimento não contêm esta vitamina, embora os precursores estejam habitualmente presentes (McDonald *et al.*, 2010). As leguminosas são importantes na pastagem uma vez que têm maior concentração de proteína digestível e minerais em relação às gramíneas (em particular cálcio, fósforo, magnésio, cobre e cobalto), aumentando o valor nutricional do alimento (McDonald *et al.*, 2010). Os fenos apresentam um valor nutritivo relativamente reduzido, com valores de digestibilidade da matéria seca na ordem de 55% e teores de proteína bruta de cerca de 8%, mesmo quando colhidos no estado de desenvolvimento mais favorável (Ferreira *et al.*, 1981). A erva das pastagens por sua vez, em termos de valor nutritivo, apresenta três períodos distintos ao longo do ano. Um primeiro período, que se inicia após o começo da época das chuvas (Setembro/Outubro/Novembro) e termina no período médio da floração (50% de flores abertas), durante o qual a digestibilidade poderá atingir valores na ordem dos 80% e os valores de proteína bruta a ultrapassarem os 20%. Um segundo período decorre daí em diante até à senescência das plantas (Março/Abril/Maio/Junho), em que os valores de digestibilidade descem para os 60-65% e a proteína bruta para os 12-16%. Um terceiro período de erva seca no Verão, em que os valores de digestibilidade se situam na ordem dos 50% e teores proteicos na ordem dos 5-8% (Moreira, 2002). Os valores apresentados constituem apenas uma referência, muito sujeita às particularidades do local, nomeadamente no que diz respeito à fertilidade do solo, disponibilidade hídrica e composição florística. A depreciação do valor nutritivo das plantas pratenses após o início da floração, no caso das leguminosas, e espigamento, no caso das gramíneas, deve-se ao aumento do teor de fibras na matéria seca e à redução da proteína bruta em resultado do aumento da proporção de caules e consequente redução da proporção de folhas. Durante a senescência das plantas, esta tendência é mais marcada, afetando ainda mais a digestibilidade devido ao aumento da percentagem de lenhina. O processo de mobilização de nutrientes para órgãos de reserva e sementes (que posteriormente se destacam da

planta) é também bastante significativo, resultando numa depleção e variação da proporção de constituintes na parte aérea (Klapp, 1971; Moreira, 2002).

1.1.3. Pastagens seminaturais

As pastagens, de um modo geral, assentam sobre solos de aptidão agrícola marginal, isto é, com graves limitações de fertilidade, encontrando-se na sua grande maioria sobre solos de granito e xisto, de média/baixa profundidade e de textura entre arenosa e franca (Rodrigues *et al.*, 2004). No que respeita ao pH do solo, Ferreira et al. (2007) concluíram que, em Portugal, 90% dos solos utilizados para pastagem são de reação ácida. No entanto, outros fatores ditam um destino de uso como pastagens, como sejam reduzidas espessura efetiva dos solos ou pedregosidade, relevo que dificulta a mecanização e, baixa capacidade efetiva de retenção e disponibilidade de água para as plantas. Assim as pastagens seminaturais apresentam, geralmente, baixa e irregular produção de biomassa (Lourenço *et al.*, 1994). As pastagens seminaturais, precisam de leguminosas em grande quantidade na sua composição para fixação do azoto, que permita uma vegetação em bom estado de desenvolvimento.

1.1.4. Pastagens melhoradas

As pastagens podem ser melhoradas recorrendo a diferentes intensidades e combinações de técnicas, as quais permitem respostas progressivas de produção (Moreira, 1986, 1998). De modo geral nas pastagens melhoradas, são usadas diferentes técnicas culturais incluindo fertilização para aumentar a produção de biomassa e melhorar a composição florística e a qualidade das pastagens.

1.1.5 Técnicas de gestão de pastagens

As pastagens de boa qualidade, devidamente vedadas com cercas e portões que proporcionem a segurança dos animais, são uma das melhores e mais baratas fontes de alimento para os herbívoros e, com um manejo adequado, são também o ambiente mais natural e saudável para a prática de exercício físico e para o descanso dos animais (Hall e Comerford, 1992).

Quando as pastagens apresentam um ritmo lento de crescimento (inverno e verão), é necessário fornecer uma proteção às pastagens de modo a delimitar o pastoreio e pisoteio dos animais. Por outro lado, quando as pastagens apresentam um bom ritmo de crescimento (primavera e outono na região mediterrâneo), são necessários períodos de pastoreio mais prolongados para manter as pastagens em boas condições e com uma altura de erva desejável (Stubbs, 1998). De um modo geral, o manejo das pastagens determina a sua longevidade e qualidade e, para a existência de animais saudáveis, é necessário que as pastagens sejam equilibradas em termos nutricionais e que tenham uma elevada digestibilidade. Por outro lado, a produção de alimento de elevada qualidade na própria exploração agropecuária a um baixo custo permite melhorar os resultados económicos da mesma, assim como reduzir a sua dependência em relação a fatores de produção externos (Freire, 2011; Martin-Rosset *et al.*, 2015; Pottier e Martin-Rosset, 2015). Por exemplo, quando as pastagens são muito utilizadas no inverno devido ao excesso de animais e ao tempo excessivo dos mesmos na pastagem, o crescimento da erva na primavera vai ser afetado e a pastagem fica degradada devido ao pisoteio e compactação dos solos que, resultam numa diminuição da sua longevidade (Martin-Rosset *et al.*, 2015).

1.2 A fertilização das pastagens

A fertilização é uma técnica inquestionável para o correto melhoramento das pastagens, subentendendo-se os aspetos da composição florística e do aumento da produção qualitativa e quantitativa. O princípio base pelo qual a fertilização tem também elevada influência na composição florística, traduz-se nas diferentes exigências nutricionais das várias espécies presentes na pastagem (Plancquaert, 1972). De acordo com Retz (2016), o objetivo da aplicação de nutrientes é fornecer em quantidades adequadas todos os nutrientes essenciais para uma cultura durante o período de crescimento. Se a quantidade de qualquer nutriente é limitante em qualquer momento, existe um potencial para perda da produção. À medida que a produtividade das culturas aumenta, as quantidades de nutrientes exportados dos campos de produção onde as culturas são plantadas também aumentam.

Segundo Retz (2016), nestas condições o solo pode tornar-se deficiente a não ser que a área receba suplementação desses nutrientes através da aplicação de fertilizantes. Os fertilizantes precisam ser aplicados em todos os sistemas de produção com a finalidade

de obter níveis adequados de produtividades que fazem com que os esforços de produção sejam vantajosos. Práticas modernas de adubação, introduzidas primeiramente na parte final dos anos 1800 e baseadas no conceito químico da nutrição de plantas, contribuíram de modo marcante para o aumento da produção agrícola e resultou, também, em melhor qualidade dos alimentos e das forragens e pastagens. Além disso, os retornos econômicos obtidos pelos agricultores aumentaram substancialmente em decorrência do uso de fertilizantes na produção das culturas.

De modo a maximizar e potencializar a produtividade das pastagens é importante implementar algumas técnicas de melhoramento e culturais, como é o caso das adubações. No entanto, para que esta operação seja corretamente executada, é necessário efetuar análises ao solo e ter em conta os seus resultados.

A textura, a estrutura e a profundidade do solo têm uma grande influência na capacidade de armazenamento de água utilizável pelas plantas e na drenagem, sendo os fatores físicos mais determinantes na fertilidade natural do solo (Moreira, 2002; Carneiro e Simões, 2014).

Em termos de fertilidade do solo é fundamental saber o pH, o teor e distribuição da matéria orgânica, a necessidade de calcário, a riqueza em macronutrientes (principalmente fósforo e potássio) e a possível carência ou excesso de micronutrientes (Carneiro e Simões, 2014).

O solo é o principal reservatório de água e nutrientes para as plantas e os principais macronutrientes que estas necessitam para o seu crescimento são o azoto, o fósforo e o potássio (Moreira, 2002; Carneiro e Simões, 2014). As leguminosas formam uma simbiose com bactérias da família Rhizobiaceae que se encontram presentes nos nódulos das suas raízes, convertendo azoto atmosférico numa forma de azoto disponível para as plantas e, deste modo, a adubação deste macronutriente pode não ser necessária. As pastagens que contêm 15 a 20% de *Trifolium repens* L. têm a capacidade de fixar cerca de 200 kg de azoto por ha e por ano (Martin-Rosset *et al.*, 2015).

Contudo, a fertilização com azoto aumenta a produção de matéria seca das pastagens ao longo do ano e poderá levar a uma maior concentração de proteína bruta na erva da pastagem (Virkejärvi *et al.*, 2012).

Os solos devem estar providos nos macronutrientes fósforo e potássio nas quantidades mínimas de pelo menos 50 mg por kg de terra (Carneiro e Simões, 2014). Se os valores das análises de terra forem mais baixos que os indicados, devem ser introduzidas correções através de adubações, as quais se podem fazer no ano da sementeira ou no início da recuperação da pastagem. Nos anos seguintes devem ainda ser feitas adubações de manutenção, de preferência no outono, as quais irão colmatar as necessidades das plantas (Carneiro e Simões, 2014). Aplicar ou não fertilizantes nas pastagens para aumentar a produção levanta questões de que os agricultores precisam saber. Uma vez que um programa regular de manejo de nutrientes tem sido uma prática frequentemente negligenciada nas pastagens, análises do solo devem ser usados para determinar com precisão as necessidades de azoto, fósforo, potássio e calcário. As análises de solo ajudam-nos a aplicar fertilizantes onde são necessários de modo evitar a sua aplicação nas zonas desnecessárias, o que pode causar toxicidade. Em pastagens é muito importante a aplicação dos fertilizantes, de modo a fazer restituição dos fertilizantes que foram absorvidos pelas pastagens durante a sua fase de desenvolvimento vegetativo. A fertilização das pastagens pode ser feita com materiais orgânicos (estrumes de animais, por exemplo) ou com adubos minerais convencionais dependendo do tipo de pastagens e da disponibilidade de fertilizantes.

1.2.1. Azoto

De acordo com Reetz (2016) o azoto é uma componente chave dos aminoácidos e das proteínas, fazendo também faz parte da molécula de clorofila, que controla a fotossíntese, a reação de captura da energia solar pelas plantas. O azoto e o magnésio presentes na molécula da clorofila habitualmente são obtidos do solo. Assim, o adequado fornecimento de azoto é necessário para o processo da fotossíntese e para a produção de proteínas nas culturas e biomassa total produzida.

O azoto ocorre em uma variedade de formas no solo, e pode ser absorvido em diferentes formas pelas plantas em crescimento, durante a estação de crescimento, e mesmo entre as estações. As principais são, contudo, NH_4^+ e NO_3^- . O azoto é transformado de uma forma para outra por vários processos químicos e biológicos.

Segundo Reetz (2016), o azoto tornar-se reativo pelos relâmpagos e é depositado também no solo através das chuvas, e alguns desses processos podem tornar o azoto mais disponível para as plantas, enquanto outros reduzem sua disponibilidade.

O azoto também pode ser perdido dos sistemas de produção por várias formas. Ele pode ser perdido para a atmosfera, a partir do solo ou das plantas em crescimento como gás dinitrogénio (N_2), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O), ou outros óxidos de azoto (NO_x). Ele pode ser perdido como nitrato (NO_3^-) por lixiviação ou escoamento superficial do solo. Em resumo, o azoto é um elemento muito reativo, forma numerosos compostos bioquímicos nas plantas, e exerce uma variedade de funções no crescimento e desenvolvimento das plantas. Isto torna complicada a gestão deste nutriente (Reetz, 2016).

Embora seja um dos nutrientes mais estudados, ele permanece um dos menos compreendidos, mas a sua importância na produção das culturas e na alimentação humana e animal torna-o uma parte muito importante na gestão de nutrientes (Reetz, 2016).

De acordo com Reetz (2016), o azoto é também importante em decorrência do seu impacto no meio ambiente, sobretudo nos corpos aquáticos de superfície. O azoto promove o crescimento de algas e plantas aquáticas, as quais à medida que morrem e se decompõem, consomem o oxigénio da água, criando condições de hipoxia que leva a falta de oxigénio aos animais aquáticos.

Uma meta importante das melhores práticas de gestão dos fertilizantes é reduzir a libertação de formas reativas de azoto (outras formas diferentes de N_2) no meio ambiente. A camada arável da maioria dos solos contém entre 0,08 e 0,4% de azoto, com uma média representativa de 0,15%. Isto equivale a 3360 kg de N ha^{-1} que ocorrem naturalmente no solo, sendo a maior parte na forma de compostos orgânicos, que são lentamente decompostos tornando o azoto disponível para o crescimento das plantas.

Em comparação com o azoto total do solo, aquele aplicado via fertilizantes, embora mais prontamente disponível, constitui-se em uma pequena fração no solo.

Segundo Reetz (2016) o azoto aplicado como fertilizante meramente contribui como reservatório de azoto no solo. As mudanças na forma de azoto no solo fazem com que a sua gestão seja um processo muito complexo, pelo que fazer a separação de quanto de azoto de uma referida fonte contribui para o crescimento das culturas, quanto para as

perdas para a atmosfera, e quanto para a contaminação das águas, é praticamente impossível. Uma vez que todos esses processos partem de um mesmo reservatório, é difícil mostrar de modo conclusivo como a gestão de uma fonte de azoto pode causar impacto em quaisquer dos processos ou de seus produtos. Tudo isso é devido à grande dinâmica do azoto no sistema solo/planta. Isto faz com que qualquer tentativa de monitorar e controlar perdas de azoto dos campos de produção se torne uma tarefa extremamente difícil. Mas os agricultores podem beneficiar deste nutriente se fizerem um grande esforço para uma gestão adequada da parte do processo sobre a qual eles têm algum controle que é racionalizar a aplicação.

O azoto é, de entre os elementos essenciais, aquele que normalmente é absorvido em quantidades mais elevadas. Geralmente, é o elemento que mais limita o crescimento e produção das culturas em ecossistemas naturais e agrícolas. Na planta é o principal responsável pela cor, devido ao conteúdo em clorofila, que converte a energia solar em energia química através do processo da fotossíntese. É também componente de outras biomoléculas como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos. Entra na composição de vitaminas e enzimas, tendo um papel fundamental em todas as atividades metabólicas da planta (Mills e Jones, 1996; Osman, 2013). A sua deficiência manifesta-se por um amarelecimento das folhas e, por se tratar de um elemento móvel na planta, a clorose começa nas folhas mais velhas. Quando a deficiência é severa provoca queda prematura das folhas, mantendo-se ativas apenas as partes mais jovens da árvore, para onde é translocado a partir das folhas mais velhas.

Segundo Santos (2015) se o azoto estiver em excesso no solo, as plantas podem absorver quantidades elevadas, originando desequilíbrios nutritivos com os outros elementos pode causar toxicidade nas plantas. Nesta situação, as culturas ficam mais vulneráveis a stresses ambientais (térmico, hídrico) e à ação de pragas e doenças.

1.2.2. Fósforo

O fósforo tem um papel vital na fotossíntese, funcionando na captura e transferência de energia para as ligações químicas.

Tecidos merismáticos jovens em rápido crescimento têm uma elevada concentração de fósforo. Os materiais genéticos, ácido desoxirribonucleico (DNA) e

ácido ribonucleico (RNA), são construídos ao redor da estrutura de átomos de fósforo, exercendo o fósforo um papel fundamental no metabolismo dos açúcares e amidos, todos críticos nos processos de divisão celular e crescimento.

O fósforo intervém praticamente em todos os processos de metabolismo mais relevantes das plantas, participando na fotossíntese, captação, armazenamento e transferência de energia na planta (Whitehead, 2000). As plantas têm um conteúdo em fósforo que varia entre 0,15-0,45% na matéria seca, estando menos de 80% incorporado em compostos orgânicos (Grime, 1988).

A variação de fósforo nas plantas, regista o seu máximo antes da floração, descendo depois ao aumentar a proporção de caules/folhas, provocando um envelhecimento mais rápido dos tecidos foliares (Rodríguez-Barreira, 2000).

Erosão do solo, escoamento superficial e perda de fósforo dos campos agrícolas são considerados grandes responsáveis pela formação de áreas hipóxicas em todo o mundo. Melhores práticas de gestão de fósforo têm como objetivo minimizar as perdas de fósforo para o meio ambiente e aumentar a eficiência de uso nutriente pelas culturas em crescimento. A dinâmica do fósforo no sistema solo-planta é afetada por uma variedade de processos contínuos, físicos, químicos e biológicos, que afetam quanto o fósforo está disponível para as plantas em cada forma e em cada momento (Reetz, 2016).

Valores de pH elevados, com presença de carbonatos no solo, podem induzir insolubilização de fósforo (Santos, 2015).

1.2.3. Potássio

De acordo com Reetz (2016) o potássio no solo é encontrado em pequenas quantidades na solução como catião (K^+), e é absorvido pelas plantas nessa forma. Em qualquer momento podem existir apenas 12 a 15 kg de potássio por hectare na solução do solo, mas existe grande suprimento de potássio trocável ou ligado ao solo em quantidades e disponibilidade variáveis.

A solução do solo é constantemente reposta pelo processo de troca de catiões à medida que os iões K^+ são absorvidos da solução do solo pelas raízes das plantas. O potássio em sua forma iónica ocorre em equilíbrio em vários processos no solo.

O potássio é um nutriente normalmente associado à regulação da abertura e fecho dos estomas, função importante para a entrada de CO₂ na planta e para a atividade fotossintética (Mills e Jones, 1996). Plantas bem providas de potássio são também mais tolerantes a stresse hídrico e ao ataque de pragas e doenças (Santos, 2015). A deficiência de potássio é relativamente frequente e manifesta-se por necrose das extremidades das folhas, culminando em frutos de pequenas dimensões e produção reduzida. Riedel *et al.* (2004) mostraram que quando se detetam níveis baixos do nutriente nas folhas num determinado ano, o efeito da deficiência só se reflete na produção do ano seguinte.

De acordo com Reetz (2016), na planta o potássio regula o fluxo de água e outros materiais através das membranas celulares, e ajuda a regular uma grande variedade de processos químicos e enzimáticos. O potássio não integra estruturas orgânicas nas plantas, mas atua no balanço iónico das cargas elétricas por se movimentar para dentro e para fora através das membranas celulares. Ao fazer isso, o potássio é essencial para a absorção e fluxo de nutrientes na planta, e para a manutenção do balanço hídrico na planta. Ele é, então, essencial para a utilização de outros nutrientes e da água, mesmo que, quimicamente, ele não combina com outros nutrientes. Muito do potássio usado por uma cultura em crescimento não é acumulado no grão, mas permanece nos resíduos das culturas (colmo, folhas e palha).

Quando uma planta morre, o potássio é facilmente lixiviado do resíduo da cultura e pode até ser lixiviado do tecido vivo da planta sob fortes chuvas. Para culturas forrageiras, onde a planta inteira é colhida, e outras como cana-de-açúcar e algumas culturas de cereais cultivados, em que tanto os grãos como a palha são colhidos para consumo humano e animal, os solos perdem anualmente grande quantidade de potássio.

1.2.4. Boro

O boro está relacionado a muitos processos fisiológicos da planta que são afetados pela sua deficiência, como transporte de açúcares, síntese da parede celular, lignificação, estrutura da parede celular, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, metabolismo do ácido indol-acético, metabolismo de fenólicos, e integridade da membrana plasmática. Entre as diversas funções, duas estão muito bem definidas:

síntese da parede celular; e a integridade da membrana plasmática (Cakmak e Römheld, 1998).

De acordo com Goldberg (1993), a absorção de boro pelas plantas depende da sua disponibilidade no solo. Esta, por sua vez, depende das reações de adsorção entre o boro e seus adsorventes existentes no solo, tais como os óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, a matéria orgânica, o hidróxido de magnésio e o carbonato de cálcio. A adsorção aumenta com o aumento do pH, da temperatura, do teor de materiais adsorventes e com a diminuição da humidade do solo. Nas culturas, o boro participa na formação dos ácidos ribonucleicos, na síntese e translocação dos glúcidos e na proporção de mono e polissacarídeos. Associados ao teor de boro nas plantas, podem estar fenómenos como a redução da transpiração e a polinização. As aplicações de boro podem ser realizadas ao nível do solo, mas também, de forma eficaz, ao nível foliar. Ao nível do solo pode ser aplicado qualquer sal de boro.

No entanto, ao nível foliar convém aplicar um produto muito solúvel. Os sintomas de carência e excesso verificados ao nível das folhas são muito idênticos, por isso, as aplicações devem ser cautelosas (Santos, 1996). As carências podem ser verificadas através da morte dos ápices, os caules ficam quebradiços e as folhas ficam distorcidas com cloroses amareladas seguindo-se de necroses (Varenes, 2000).

1.2.5. Efeito da aplicação de fertilizantes na produtividade e qualidade das pastagens

O princípio base pelo qual a fertilização tem grande influência na composição florística, traduz-se nas diferentes exigências nutricionais das várias espécies presentes na pastagem (Plancquaert, 1972).

Com aplicação de fertilizantes nas pastagens a qualidade e maximização da produção de biomassa aumenta. Dentro do grupo de gramíneas de bom valor forrageiro, como *Holcus lanatus* e *Festuca rubra*, são desfavorecidas pela aplicação dos três macronutrientes enquanto as restantes, de menor valor forrageiro, são nitidamente favorecidas. As duas principais leguminosas *Trifolium repens* e *Trifolium pratense* são favorecidos pelo fósforo e sobretudo pelo potássio, sendo desfavorecidas pelo azoto, enquanto *Lotus corniculatus* tem comportamento indiferente (Pires *et al.*, 1994).

De entre as outras famílias de plantas e gramíneas de nulo interesse, só *Achillea millefolium* e *Heracleum Sphondylium*, mostraram ser favorecidas pelo fósforo e potássio. Daqui se vê a importância da fertilização na composição florística e desenvolvimento das pastagens a qual, se for equilibrada, irá favorecer as gramíneas de melhor valor forrageiro e as leguminosas e desfavorecer as outras famílias de plantas e gramíneas sem interesse (Pires *et al.*, 1994).

1.3. Caracterização dos lameiros

As disponibilidades hídricas disponíveis e o regime de aproveitamento são os principais critérios de classificação destas pastagens seminaturais de montanha.

De acordo com a disponibilidade de água ao longo do ano, os lameiros podem classificar-se em lameiros de regadio, lameiros de regadio imperfeito e lameiros de sequeiro ou de secadal.

De acordo com Teles (1970) e Pires *et al.* (1994), os lameiros de regadio dispõem-se ao longo dos cursos de água permanentes durante todo o ano ou junto a boas nascentes de água, permitindo satisfazer as necessidades de rega todo o ano. Estes lameiros localizam-se preferencialmente em fundos de vale e meia encosta (Moreira *et al.*, 2001).

De acordo com Pires *et al.* (1994), os lameiros de regadio imperfeito encontram-se próximos de linhas de água não permanentes ou de pequeno caudal e com nascentes de água reduzidas, pelo que a disponibilidade de água para satisfazer as necessidades da pastagem durante todo o Verão é insuficiente para regar toda a superfície. De acordo com Moreira *et al.* (2001) a sua localização preferencial é em fundos de vale, meia-encosta, encosta e por vezes nos planaltos.

De acordo com Pires *et al.* (1994) os lameiros de sequeiro ou secadal ocorrem junto a linhas de água temporárias, as quais, mesmo no Inverno, em períodos mais ou menos longos sem precipitação, podem desaparecer. Deste modo, não dispõem de água para rega de verão, dependendo da água das chuvas e da neve, a qual é frequentemente conduzida, através de caminhos, e distribuída nos lameiros por um sistema de sulcos dispostos em faixas ou em espinha (Teles, 1970).

O regime de aproveitamento é também um critério de classificação destas pastagens seminaturais de montanha, tradicionalmente usadas na alimentação dos efetivos pecuários: lameiros de pasto; lameiros de erva; e lameiros de feno.

Os lameiros de pasto destinam-se unicamente ao pastoreio do gado (Teles, 1970; Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001), constituindo, juntamente com os matos, a base da alimentação dos bovinos autóctones na Primavera e no Inverno. Este tipo de lameiros são normalmente pastagens mais pobres com pouca densidade da vegetação, de sequeiro ou de regadio imperfeito, e os mais declivosos de regadio principalmente quando próximos de locais com muito mato, sendo também os menos produtivos e mais infestados (Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001).

Os lameiros de erva são lameiros de regadio, que apresentam uma boa quantidade de biomassa vegetal com elevado valor nutritivo (Pires *et al.*, 1994), situados em solos profundos e férteis, próximo ou no interior das povoações, que se destinam quase exclusivamente à produção de erva para corte (Teles, 1970; Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001; Dries, 2002). Durante o Inverno e início da Primavera, estas pastagens beneficiam tradicionalmente de regas enriquecidas com grande quantidade de nutrientes dissolvidos ou em suspensão, arrastados desde as instalações/alajamento dos animais e caminhos públicos frequentemente transitados por animais (Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001). O seu aproveitamento consiste sobretudo na alimentação de vitelos de leite próximo do desmame (\pm 4 meses de idade). O corte para erva é normalmente intervalado de 20 a 30 dias (Moreira *et al.*, 2001).

Os lameiros de feno, os mais abundantes, são aproveitados em regime misto de corte e pastoreio ao longo do ano (Teles, 1970; Pires *et al.*, 1994; Dries, 2002). Normalmente são feitos cortes para feno no fim da Primavera/início do Verão, pelo que, são coutados do gado desde o início da Primavera (Março a Maio, conforme a capacidade de produção e a área considerada) e, durante o resto do ano, são submetidos a pastoreio (Teles, 1970; Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001).

Enquanto estes lameiros estão coutados, a base da alimentação do gado centra-se no baldio, no pastoreio de lameiros de pasto e no pastoreio de ferrã de centeio (Vieira *et al.*, 2000). Teles (1970) refere ainda a possibilidade de realização de um corte para erva,

em setembro/outubro, ao qual é dada a designação de “outono”. Segundo Moreira *et al.* (2001) estes lameiros são geralmente de regadio ou de regadio imperfeito.

2. Materiais e métodos

2.1 Localização do ensaio

Os ensaios de campo foram instalados na Primavera de 2013 num lameiro da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, que se enquadra na associação de vegetação, Bromo-Cynosuretum, segundo a classificação de Teles (1970), situado na Latitude, 41° 48' N e Longitude, 6° 44' W. Nesta tese são usados os dados de corte de biomassa da Primavera e Verão de 2019 e 2020 e dados da colheita de solos efetuada no fim do Verão de 2020.

2.2. Clima

Bragança está em média a 690 m acima do nível do mar. Em Bragança, o clima é temperado. O Inverno tem muito mais pluviosidade que o Verão. De acordo com a classificação de Koppen e Geiger o clima é do tipo Csb (Agroconsultores e Coba, 1991). Bragança apresenta uma temperatura média anual superior a 10 °C e inferior ou igual a 12,5 °C, bem como uma precipitação acumulada entre 600 a 800 mm, o que determinam a sua inclusão na “terra fria de planalto” (Agroconsultores e Coba, 1991).

2.2. Caracterização do solo

O solo onde se estabeleceu o ensaio é classificado como luvisolo, que em geral se caracteriza por horizonte B árgico em resultado de um processo de lavagem, com migração e acumulação de argila em profundidade, com teores de bases médio a alto, apresentando perfis do tipo, A Bt C R ou A Bt C (Figueiredo, 2005).

De acordo com Agroconsultores e Coba (1991), a espessura do solo afeta as condições de enraizamento das plantas, induz carência de água no solo, resultado da

reduzida espessura efetiva que não permite armazenamento de água capaz de mitigar a falta de precipitação no Verão que é característico dos climas mediterrânicos.

2.4. Delineamento experimental

A experiência foi organizada de forma completamente causalizada com cinco tratamentos e três repetições.

Os tratamentos consistiram na aplicação anual de azoto, fósforo, potássio ou boro e uma modalidade testemunha sem aplicação de fertilizantes. No caso do azoto foi aplicado nitrato de amónio (27% N, 50% na forma nítrica e 50% na forma amoniacal) na dose de 80 kg N·ha⁻¹. Fósforo foi aplicado na forma de superfosfato (18 % P₂O₅) na dose de 150 kg P₂O₅·ha⁻¹. O potássio foi aplicado na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O) na dose de 100 kg K₂O·ha⁻¹. O boro foi aplicado na forma de borax (11% B) na dose de 3 kg B·ha⁻¹. A aplicação dos fertilizantes decorreu no mês de abril após o corte da vegetação de Primavera.

2.5. Colheita de amostras de plantas e solos

A colheita de biomassa vegetal foi efetuada desde 2013, em duas datas, nos meses de abril e junho. O crescimento de outono, inverno e início da primavera foi avaliado, através do primeiro corte realizado no mês de abril, no momento em que as ovelhas foram retiradas da pastagem, altura do ano em que o lameiro foi utilizado por pastoreio. Passados dois meses, em junho fez-se o segundo corte para avaliar o crescimento obtido na primavera, usualmente destinado ao corte para feno, e como tal sem pastoreio. Foram usadas caixas de exclusão quadradas com aproximadamente 1 m² de área, sendo as amostras cortadas na parte central com uma quadrícula de 0,5 m × 0,5 m. Depois de cortadas as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada, regulada a 70 °C até peso constante e moídas (Figura 1) para avaliação da composição elementar.

Em setembro de 2020 foram colhidas amostras de solo compósitas (10 colheitas por repetição) em três profundidades, 0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 40 °C e crivadas em crivo com malha de 2 mm.



Figura 1: Moinho Cyclotec para moenda de amostras de tecidos vegetais

2.6. Análises laboratoriais

Foi determinada a concentrações de diversos nutrientes nos tecidos e algumas propriedades do solo.

Azoto - Foram pesadas tomas de um grama de tecido vegetal que foram transferidos para tubos de digestão para um equipamento Kjeldahl e colocados em um suporte de alumínio com capacidade para 20 tubos. Adicionaram-se duas pastilhas de um catalisador (selénio) e 15 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-97%) a cada amostra. Em seguida, as amostras foram aquecidas a 400 °C durante 40 minutos. Terminado o período de digestão, deixaram-se arrefecer e colocaram-se os tubos de digestão num equipamento automático Kjeltex TM 8400 Analyser unit FOSS (figura 2). No mesmo foi adicionada uma quantidade de hidróxido de sódio acompanhado de vapor de água. A amónia formada é arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico num vaso com uma solução recetora de ácido bórico e indicadores (Bremner, 1996).



Figura 2: Equipamento Kjeltec TM 8400 Analyser unit FOSS

Fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês – Foram pesadas 0,25 g das amostras que foram transferidas para tubos de digestão aos quais se adicionaram 10 ml de ácido nítrico. Os tubos foram fechados e levados para digestão em micro-ondas MARSXpress. Após a digestão, o líquido foi transferido para um tubo 50 ml que se completou com água desionizada. Foram quantificados os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês em espectrofotômetro de absorção atômica num equipamento PYE Unicam PU 9100X (figura 3).

Para a determinação do fósforo, após a diluição, adicionou-se 4,0 ml da solução molibdato de amônio azul com ácido ascórbico. Após 35 minutos foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotômetro a um comprimento de onda 882 nm (Walinga et al., 1989).



Figura 3: Equipamento PYE Unicam PU 9100X

Boro - Pesou-se um grama das amostras que foram transferidas para cadinhos onde se adicionou 0,10 g de óxido de cálcio e se misturou até a amostra ficar homogênea. De seguida, os cadinhos foram 90 minutos para uma mufla onde se realizou a queima das amostras a temperatura de 500 °C. Após a queima adicionaram-se 10 ml de ácido sulfúrico 0,5 M e após 30 minutos filtraram-se as amostras. Posteriormente, transferiu-se 1 ml das amostras para tubos de 10 ml de polipropileno e foram adicionados 2,0 ml de azometina-H, e 30 minutos depois do desenvolvimento de cor realizaram-se as leituras de absorvância das amostras em espectrofotómetro com comprimento de onda 420 nm (Walinga et al., 1989).

pH em água - Preparou-se uma amostra com proporção entre solo e água de 1 para 1,25 (p/v), agitou-se por duas horas e fez-se a leitura por potenciometria.

pH em cloreto de potássio - Preparou-se uma amostra com proporção de 1 para 2,5 (p/v) solo e solução de 1M KCl, agitou-se por duas horas e fez-se a leitura por potenciometria.

Capacidade de troca – foram pesadas 2,5 gramas de solo e adicionados a 50 ml de uma solução de acetato de amónio tamponizada a pH 7 e após 30 minutos de contato e agitação, os catiões Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ foram determinados no extrato filtrado por espectrofotometria de absorção atómica (Van Reeuwijk, 2002) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

Acidez de troca - 10 gramas de cada amostra de solo foram colocados em contacto com 100 ml da solução de KCl 1M e agitada durante 30 minutos. Depois de filtrada a suspensão fez-se uma titulação com NaOH 0,1 M usando a fenolftaleína como indicador (Sims, 1996).

Fósforo e potássio extraíveis - foram determinados de acordo com o método de Egner-Riehm, que consiste numa mistura com a proporção de 1:20 (p/v), de uma amostra de solo e uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,5 agitando-se durante duas horas (MAP, 1977).

Após filtração, o fósforo (expresso em P_2O_5) foi determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda 882 nm, após o desenvolvimento de cor pelo método do ácido ascórbico. Este método de desenvolvimento de cor consiste na formação de um complexo ácido fosfomolibdénico que foi reduzido a azul-fosfo-molibdénico na presença de ácido ascórbico (Van Reeuwijk, 2002). O equipamento utilizado foi um espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda (figura 4). A quantificação do potássio (K_2O) realizou-se por fotometria de chama (MAP, 1977) no equipamento fotómetro de chama Jenway.



Figura 4: Espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda.

Cobre, ferro, zinco e manganês - Os elementos foram extraídos com uma solução de acetato de amónio, ácido acético, ácido etileno diaminotetracético e medidos por espectrometria de absorção atómica (Lakanen & Ervio, 1971) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

Boro – Extraído pelo método de água quente na presença de CaCl_2 0,1M. A quantificação do boro extraído foi feita pelo método colorimétrico que usa a azometina- H como reagente de desenvolvimento de cor (Keven, 1996) e é depois determinada num espectrofotómetro UV/VIS a 430 nm.

2.7. Análise de dados

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e homogeneidade de variância usando os testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respetivamente. A comparação do efeito dos tratamentos na produção de biomassa e na concentração de nutrientes nos tecidos foi feita com ANOVA a um fator. Nas variáveis do solo, as três profundidades foram consideradas como blocos e a análise de variância fez-se de acordo com o modelo de blocos causalizados.

3. Resultados

3.1. Produção de matéria seca

Quantidade da matéria seca anual acumulada desde o início da experiência em 2013 foi significativamente mais elevada no tratamento com azoto, mesmo relativamente às restantes modalidades fertilizadas com fósforo, potássio ou boro (Figura 5). A testemunha não fertilizada apresentou valores significativamente mais baixos que qualquer das modalidades fertilizadas. Na modalidade com azoto atingiram-se já $73760,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto na modalidade testemunha os valores acumulados foram de $58983,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

No corte de abril de 2020 também se registaram diferenças significativas entre tratamentos, com a testemunha a registar valores mais baixos que os tratamentos fertilizados. Os valores médios variaram entre $3438,8$ e $4127,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respetivamente nas modalidades testemunha (T) e adubada com azoto (N).

No corte de junho também se registaram diferenças significativas entre tratamentos, embora os valores da modalidade N não tenham diferido da modalidade testemunha. Os valores médios mais elevados foram registados no tratamento K ($6893,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e os mais baixos na testemunha ($4125,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

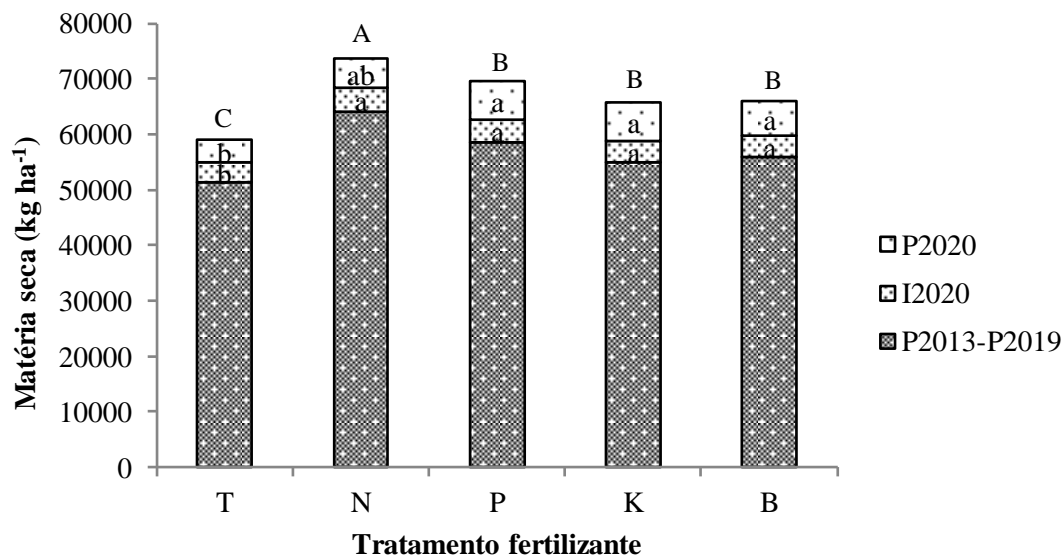


Figura 5. Produção de matéria seca anual acumulada de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e nos cortes de biomassa em abril de 2020 (I2019) e em junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes. Letras minúsculas no interior das colunas e maiúsculas no topo indicam os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias, respectivamente para cada um dos cortes e para a matéria seca acumulada de 2013 a 2020.

3.2. Exportação de nutrientes na matéria seca

O azoto exportado na matéria seca cumulativamente nos cortes de abril e junho de 2013 a 2020 é apresentado na figura 6. Os valores exportados de azoto seguem a tendência observada para a produção de matéria seca com valores a organizarem-se em três grupos de resposta estatística. O primeiro com valores significativamente mais elevados que todos os restantes, sendo constituído pela modalidade fertilizada com azoto, cujo valor acumulado atingiu $1295,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. No segundo grupo posicionaram-se as restantes modalidades fertilizadas com valores a variar entre $1068,2$ e $1117,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, e com resultado significativamente inferior a todos os restantes ficou a modalidade testemunha na qual se recuperaram $944,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de azoto.

Nos cortes de abril de 2020 e de junho de 2020 também se registaram diferenças significativas entre tratamentos e manteve-se a tendência para os tratamentos adubados

com azoto apresentarem os valores de azoto recuperado mais elevados e a modalidade testemunha os mais baixos.

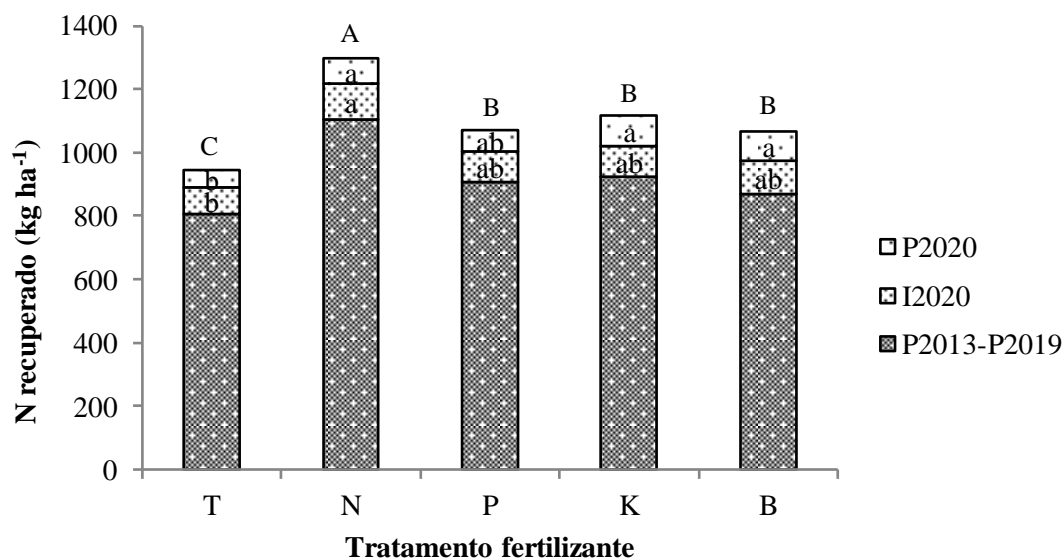


Figura 6. Azoto recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de abril de 2020 (I2019) e de junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes. Letras minúsculas no interior das colunas e maiúsculas no topo indicam os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias, respetivamente para cada um dos cortes e para a matéria seca acumulada de 2013 a 2020.

O tratamento em que foi recuperado mais fósforo desde 2013 a 2020 corresponde ao que foi fertilizado com fósforo (Figura 7). O valor acumulado foi de 164,7 kg ha⁻¹ e mostrou-se significativamente superior aos dos restantes tratamentos. Os valores mais baixos de fósforo recuperado foram registados na testemunha (114,3 kg ha⁻¹), embora sem diferença estatística para os valores registados nos tratamentos B (117,0 kg ha⁻¹) e K (124,0 kg ha⁻¹).

A tendência de ser recuperado mais fósforo na vegetação na modalidade fertilizada com fósforo manteve-se nos dois últimos cortes de 2020, com valores médios em abril de 2020 a variar de 7,7 kg ha⁻¹ (T) a 11,3 kg ha⁻¹ (P) e em junho a variar de 6,2 kg ha⁻¹ (T) a 11,3 kg ha⁻¹ (P).

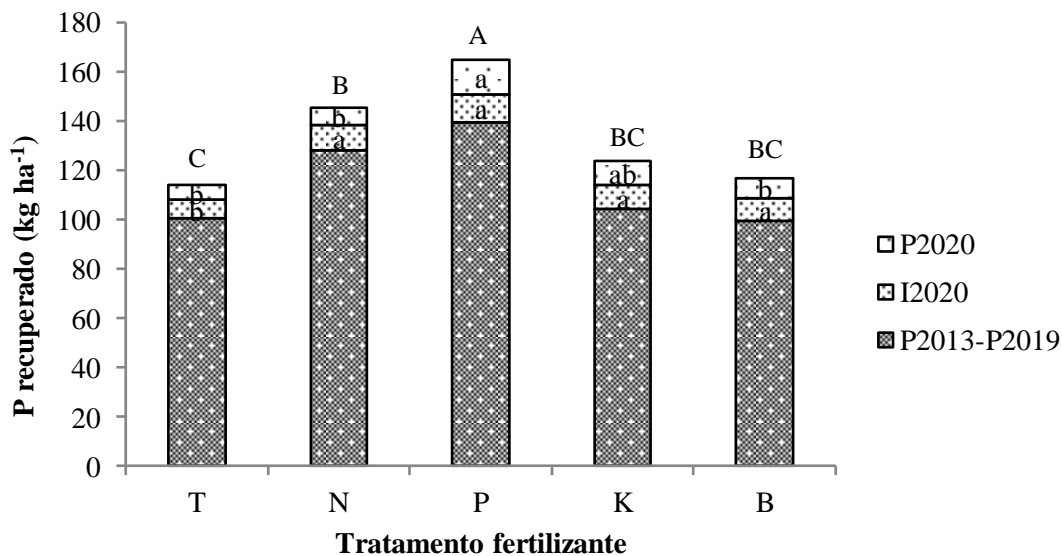


Figura 7. Fósforo recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de abril de 2020 (I2019) e de junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes. Letras minúsculas no interior das colunas e maiúsculas no topo indicam os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias, respectivamente para cada um dos cortes e para a matéria seca acumulada de 2013 a 2020.

O potássio exportado na matéria seca cumulativamente nos cortes de abril e junho de 2013 a 2019 apresenta-se na figura 8. Os valores cumulativos indicam diferenças significativas entre tratamentos. Contudo, a maior quantidade de potássio foi exportada na modalidade fertilizada com potássio ($843,7 \text{ kg ha}^{-1}$), embora a menor quantidade de potássio não tenha sido exportada na modalidade testemunha ($717,5 \text{ kg ha}^{-1}$), mas sim na modalidade fertilizada com boro ($619,1 \text{ kg ha}^{-1}$).

Nos dois últimos cortes também ocorreram diferenças significativas no potássio exportado na biomassa, mas nestes casos os valores mais baixos foram registrados na modalidade testemunha. Os valores mais elevados foram registrados com modalidade fertilizada com potássio nos cortes de abril e junho.

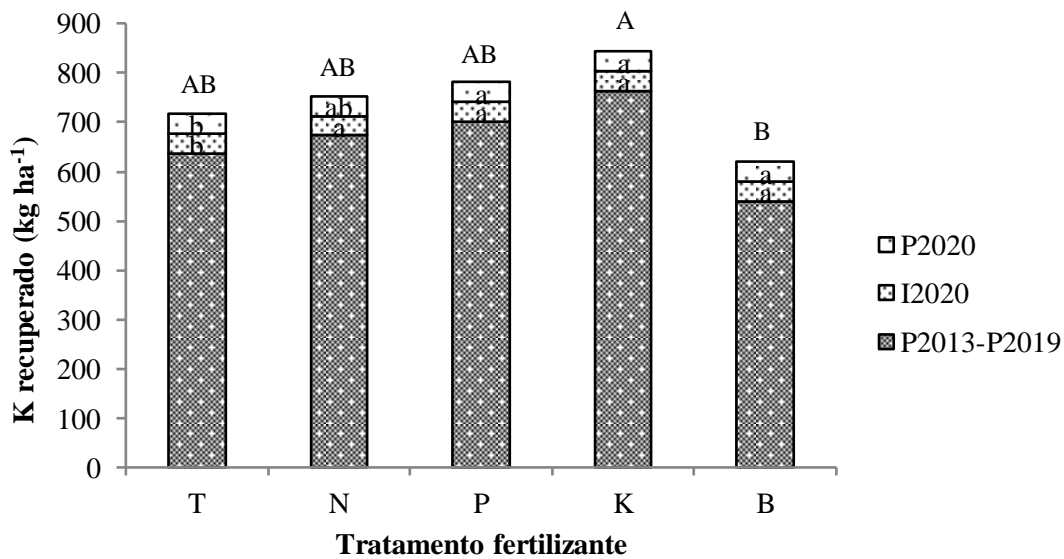


Figura 8. Potássio recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de abril de 2020 (I2019) e de junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes. Letras minúsculas no interior das colunas e maiúsculas no topo indicam os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias, respectivamente para cada um dos cortes e para a matéria seca acumulada de 2013 a 2020.

A exportação de boro na biomassa cortada desde 2013 a 2020 aparece em três grupos distintos em função da análise de variância e comparação múltipla de médias (Figura 9). Com os valores de boro exportado mais elevados, e significativamente diferente de todos os restantes tratamentos, surge a modalidade fertilizada com boro ($15572,6 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguida da modalidade fertilizada com azoto ($10923,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$), sendo estes valores significativamente mais elevados que os dos tratamentos K ($9001,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$), P ($8903,6 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) e T ($7954,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$).

No corte de abril não ocorreram diferenças entre tratamentos, tendo os valores variado entre $293,6 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (T) e $454,3 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (B). No corte de junho de 2020, ocorreram diferenças significativas entre tratamentos, com os valores mais elevados a serem registados no tratamento N ($1346,9 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) e os mais baixos no tratamento P ($496,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$).

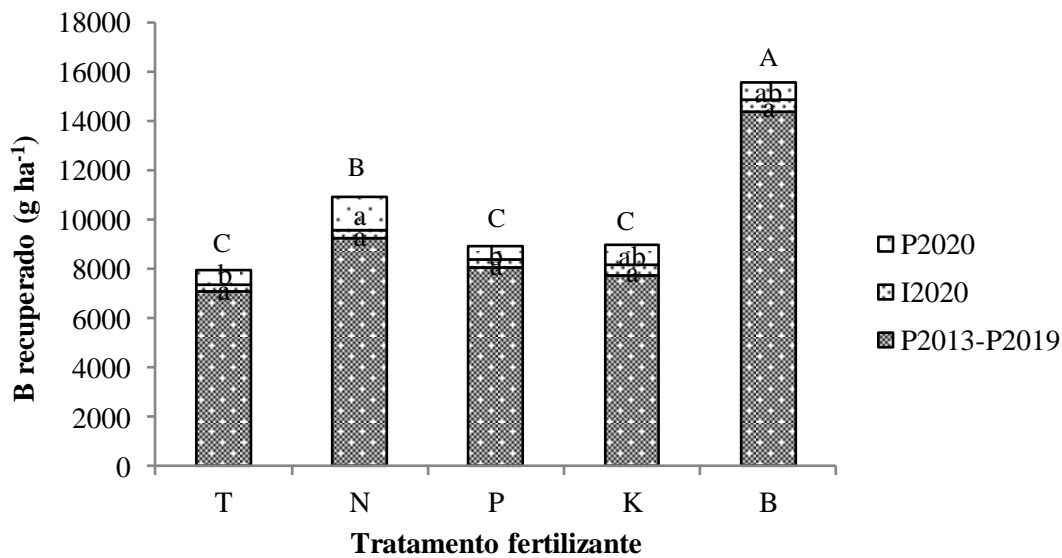


Figura 9. Boro recuperado considerando os valores anuais acumulados de 2013 a 2019 (P2013-P2019) e os valores correspondentes aos cortes de abril de 2020 (I2019) e de junho de 2020 (P2020), em função dos tratamentos fertilizantes. Letras minúsculas no interior das colunas e maiúsculas no topo indicam os resultados da análise de variância e do teste de comparação de médias, respectivamente para cada um dos cortes e para a matéria seca acumulada de 2013 a 2020.

3.3. Eficiência de uso dos nutrientes

A percentagem de nutriente recuperado relativamente ao quantitativo que foi aplicado é apresentado no quadro 1. O elemento aplicado como fertilizante que é recuperado em maior extensão na vegetação é o azoto, com valores médios de todo o período experimental de 54,8% e de 66,7% para o ano de 2020. O fósforo apresenta os valores mais baixos no período 2013/2020 com 4%, embora os valores de 2020 tenham sido um pouco mais elevados (17,0%). Do potássio aplicado recupera-se anualmente ligeiramente acima de 16%, enquanto no caso do boro se recuperou 31,7% no período de 2013 a 2020. O valor de 2020 foi, contudo, particularmente baixo (10,4%) atendendo ao padrão do elemento nos anos anteriores.

Quadro 1. Azoto, fósforo, potássio e boro aparentemente recuperados (%)* nos talhões que receberam os nutrientes respetivos nos cortes de 2020 e no total do período experimental.

Data/ano	Azoto	Fósforo	Potássio	Boro
Ano 2020	66,7	7,4	12,0	10,4
2013-2020	54,8	4,2	16,0	31,7

*(Nutriente recuperado no tratamento fertilizado – Nutriente recuperado no tratamento testemunha) / Nutriente aplicado como fertilizante \times 100.

3.4. Propriedades do solo

Os resultados analíticos de parâmetros de fertilidade do solo a seguir apresentados são relativos ao ano 2020 após o termo da experiência.

Assim na Figura 10 apresentam-se os resultados do carbono orgânico no solo em função dos tratamentos dos fertilizantes e da fertilidade do solo. O efeito dos tratamentos não foi significativo no teor de carbono orgânico no solo, apesar de ter sido na produção de matéria seca (Figura 5). O carbono orgânico, contudo, decresceu de forma significativa com a profundidade do solo, tendo variado de 29,9 a 19,8 g kg⁻¹ entre as camadas 0-0,1 m e 0,2-0,3 cm.

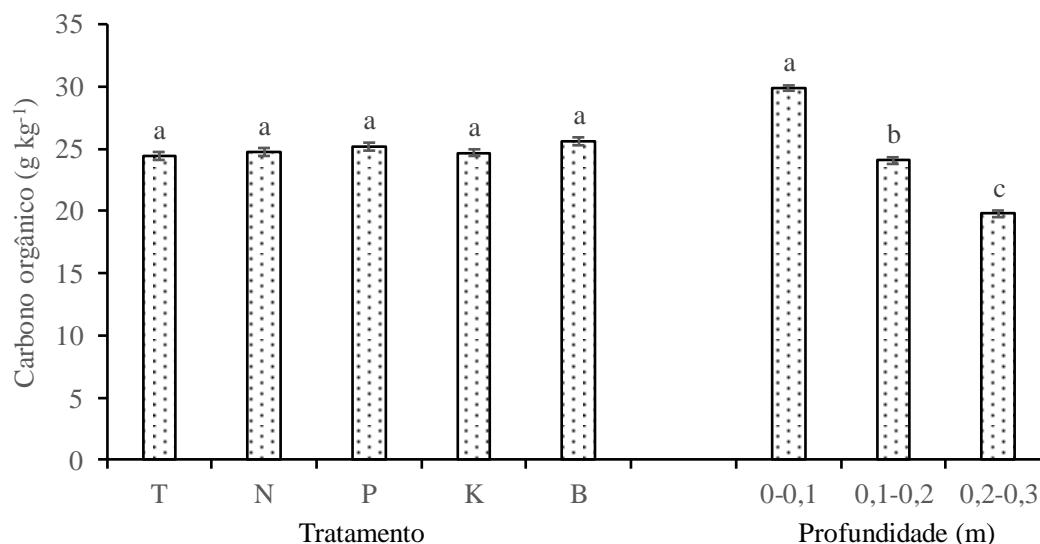


Figura 10. Carbono orgânico no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são

significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

O pH variou de forma significativa em função dos tratamentos fertilizantes e da profundidade de amostragem (Figura 11). Os valores de pH foram mais elevados nos talhões fertilizados com boro e mais baixos nos talhões que receberam azoto, fósforo ou potássio. A camada superficial apresentou os valores de pH mais baixos e a camada mais profunda os valores de pH mais elevados.

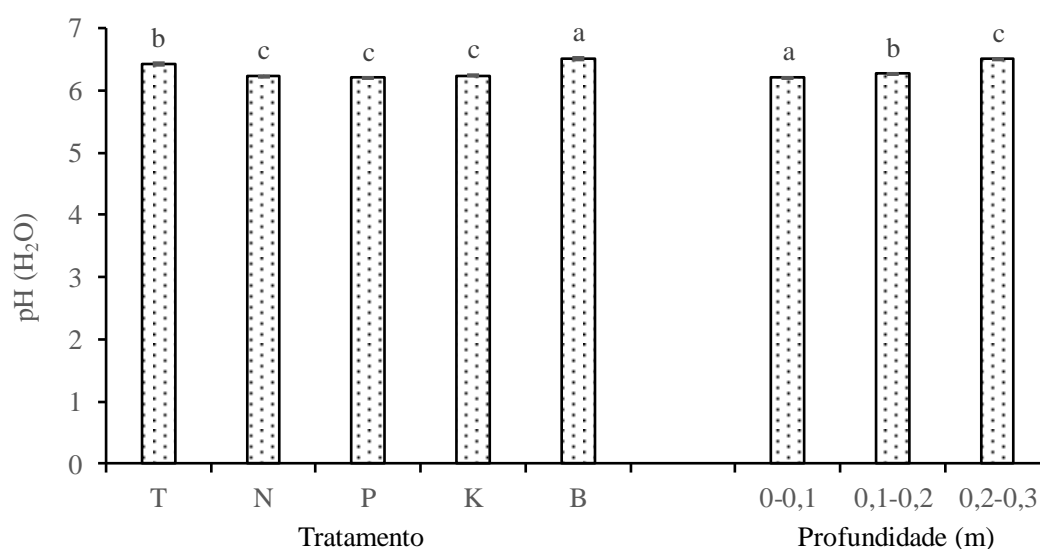


Figura 11. pH de água no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

Os teores de fósforo no solo variaram em função dos tratamentos fertilizantes e da profundidade de amostragem (Figura 12). O tratamento com fósforo aumentou de forma significativa o teor de fósforo no solo, cujos valores foram de 16,9 mg P_2O_5 kg^{-1} na modalidade testemunha e 75,8 mg P_2O_5 kg^{-1} no tratamento que recebeu fósforo. Em profundidade os valores de fósforo no solo foram significativamente mais elevados na camada superficial em comparação com as restantes. Os valores variaram de 51,0 a 13,9 mg P_2O_5 kg^{-1} nas camadas 0-0,1 m e 0,2-0,3 m, respetivamente.

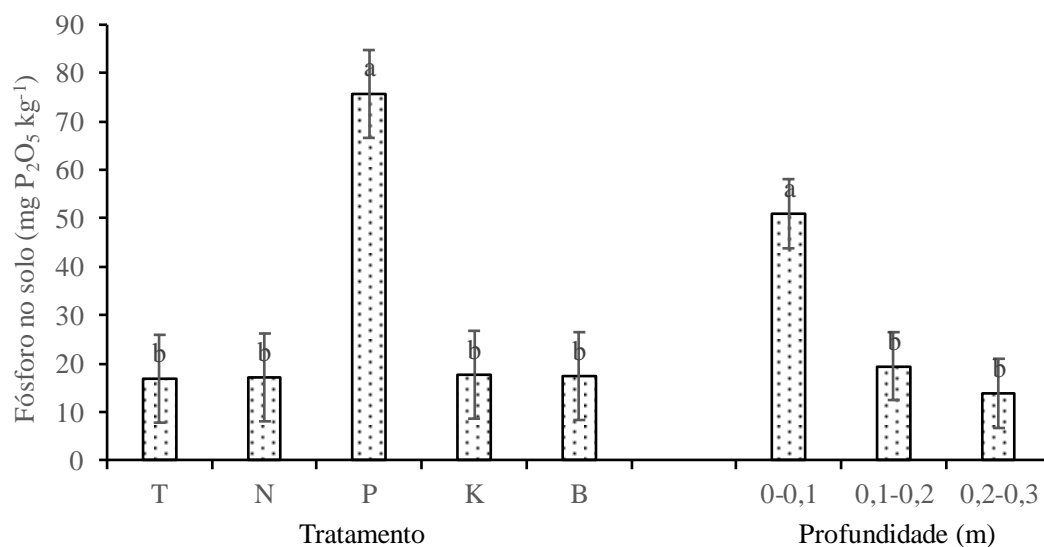


Figura 12. Fósforo no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

O teor de potássio no solo variou de forma significativa com os tratamentos fertilizantes, tendo os valores mais elevados sido registados no tratamento com potássio ($48,6 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$) e os mais baixos no tratamento testemunha ($36,0 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$) (Figura 13). O potássio no solo também decresceu com a profundidade tendo os valores da camada superficial sido significativamente mais elevados que nas camadas inferiores. Os valores médios mais elevados ($47,8 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$) e mais baixos ($30,9 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$) foram registados, respetivamente nas profundidades 0-0,1 m e 0,2-0,3 m.

Os teores de boro no solo variaram de forma significativa entre tratamentos fertilizantes e profundidade de amostragem (Figura 14). Os valores mais elevados de boro no solo foram registados no talhão que recebeu boro ($1,34 \text{ mg kg}^{-1}$), sendo os mais baixos no talhão testemunha ($0,56 \text{ mg kg}^{-1}$). Ainda que nos talhões que receberam N e P não tenha sido aplicado boro, os teores de boro no solo nestes tratamentos foi mais elevado que na testemunha. Na camada superficial, os teores de boro ($1,09 \text{ mg kg}^{-1}$) foram

significativamente mais elevados que nas camadas 0,1-0,2 m ($0,75 \text{ mg kg}^{-1}$) e 0,2-0,3 m ($0,73 \text{ mg kg}^{-1}$).

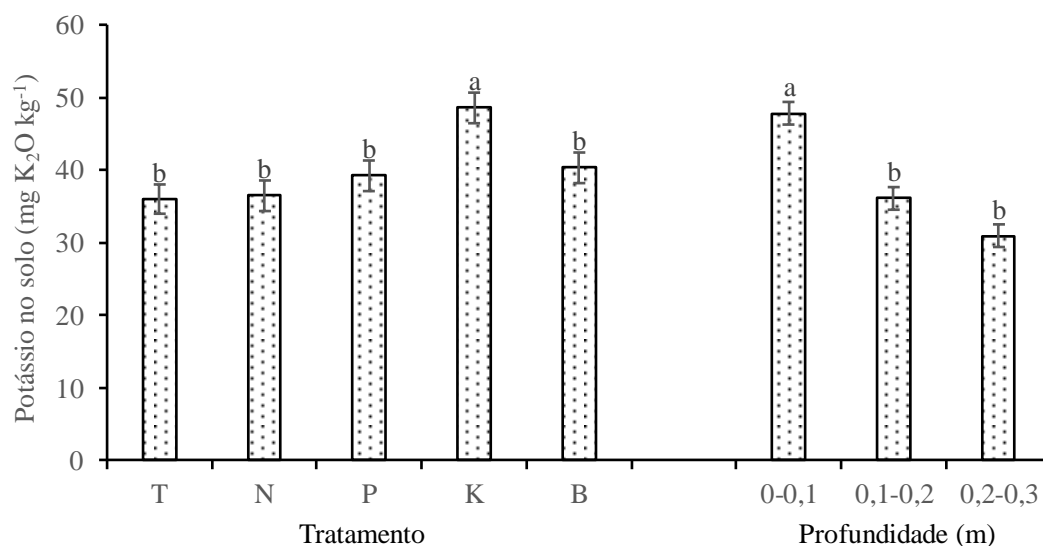


Figura 13. Potássio no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

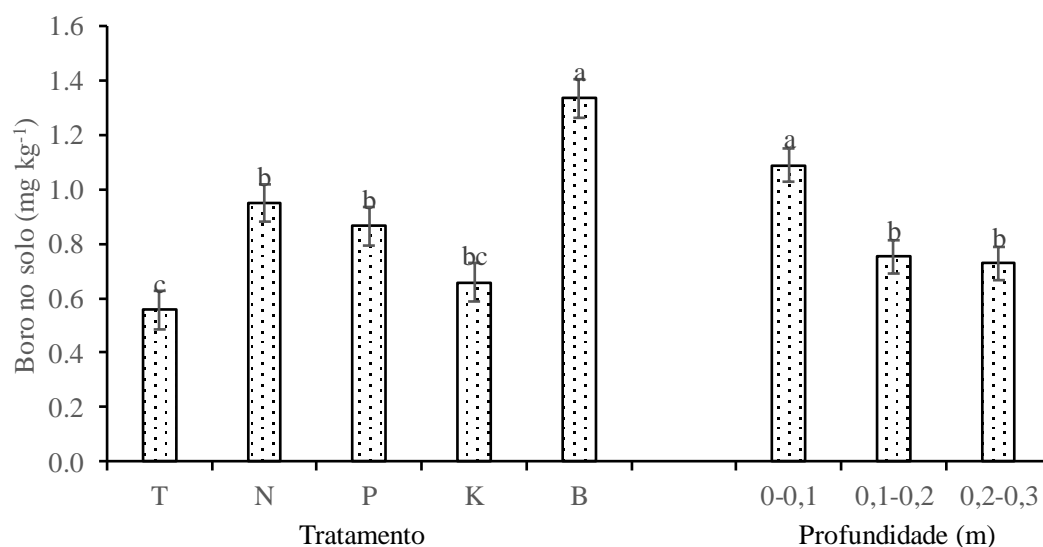


Figura 14. Boro no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou

profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

A capacidade de troca catiónica também variou de forma significativa com os tratamentos fertilizantes e com a profundidade (Figura 15). Entre tratamentos fertilizantes os valores mais elevados ($24,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e mais baixos ($23,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) foram registados, respetivamente nas modalidades com azoto e testemunha. A capacidade de troca catiónica diminuiu da camada superficial para a mais profunda entre os valores $25,6$ e $22,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

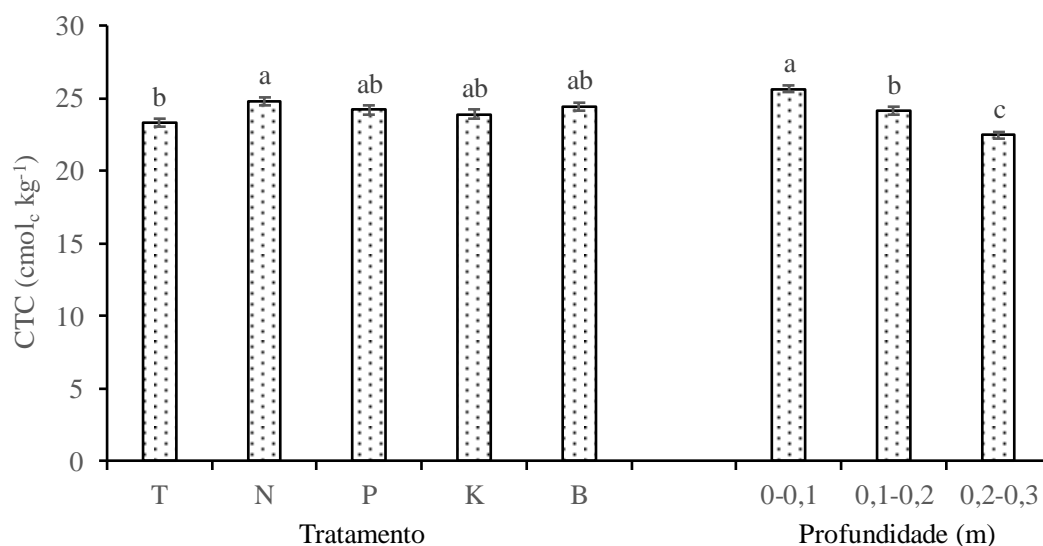


Figura 15. Capacidade de troca catiónica no solo em função dos tratamentos fertilizantes (T, testemunha; N, azoto; P, fósforo; K, potássio; e B, boro) e da profundidade do solo. Entre tratamentos ou profundidade do solo, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$). As barras de erro são os erros padrão.

4. Discussão

A maior produção da matéria seca de 2013 a 2020 foi obtida com fertilização à base do azoto. Em relação aos outros nutrientes, o azoto foi também o que foi recuperado em maior proporção mostrando maior eficiência aparente de uso (azoto aparentemente recuperado).

Quanto a exportação dos nutrientes na matéria seca, os valores de cada nutriente tendem a ser mais elevados no talhão correspondente à aplicação desse nutriente.

De acordo Rodrigues e Arrobas (2011) o azoto é considerado o elemento nutriente mais importante no âmbito da fertilização das culturas. Embora do ponto de vista fisiológico seja apenas mais um de entre os dezasseis elementos essenciais, do ponto de vista agronómico é o elemento mais determinante da produtividade vegetal. Quando o azoto é fator limitante, a aplicação do elemento ao solo provoca um estímulo praticamente imediato na vegetação. As plantas apresentam um desenvolvimento luxuriante adquirindo um tom verde intenso, devido ao aumento de teor de clorofila. De uma maneira geral, aumenta a biomassa produzida. A resposta visível das plantas a fertilização azotada é dos fatores que mais estimula os agricultores a aplicarem azoto em excesso.

O tratamento com fósforo apresenta maior produção de biomassa e recuperação de fósforo na biomassa que a modalidade testemunha. Contudo, a eficiência aparente de uso do nutriente foi baixa. Pelo contrário, foi registado um forte aumento de fósforo no solo. A variação de fósforo nas plantas, regista o seu máximo antes da floração, descendo depois ao aumentar a proporção de caules/folhas, provocando um envelhecimento mais rápido dos tecidos foliares (Rodríguez-Barreira, 2000).

A aplicação de potássio também aumentou a produção de matéria seca em comparação à modalidade testemunha sem adubação. Ainda que na modalidade fertilizada com potássio a vegetação tenha exportado mais potássio que a modalidade testemunha, a eficiência de recuperação aparente de potássio foi baixa. Em contrapartida também aumentaram os teores de potássio no solo. Os solos da região tendem a ser ricos em potássio (Arrobas et al., 2018), talvez por isso a reduzida diferença entre os tratamentos com potássio e a modalidade testemunha.

Tal como fósforo e potássio, também a adubação com boro aumentou a produção de biomassa da pastagem em comparação com a modalidade testemunha. A seguir ao

azoto, o boro foi o nutriente exportado em maior quantidade relativamente à quantidade aplicada, ainda que também tenham aumentado os teores de boro no solo relativamente à modalidade testemunha.

Nas propriedades do solo desatacam-se os maiores teores de carbono na camada superficial, devido à maior deposição de raízes (Brady, 1990). Foi também claro o aumento de fósforo, potássio e boro nos talhões que receberam os nutrientes. Isto significa que embora não tenham sido absorvidos, parte dos nutrientes continuam acumulados no solo podendo beneficiar as plantas no futuro.

Referenciam a presença nestas pastagens de algumas espécies de plantas raras e ameaçadas, como por exemplo algumas orquídeas; realçam ainda a importância dos lameiros na sobrevivência de diversas espécies de anelídeos, roedores, insetos, aves e espécies cinegéticas como o corço e o veado (Moreira *et al.*, 2001).

Ainda de acordo com estes autores, as pastagens mais produtivas – que tanto podem ser lameiros de erva como lameiros de feno – encontram-se frequentemente em solos de baixa, próximo das povoações ou de rápido acesso.

O pH dos solos ocupados por pastagens seminaturais de montanha varia na maioria dos casos entre 4,0 e 5,8, exceto nos solos derivados de rochas cristalofílicas básicas (concelhos de Vinhais e Bragança), onde o pH é mais elevado – entre 5,9 e 6,6; um pH do solo mais elevado ou igual a 5,2 é suficiente para o desenvolvimento de espécies espontâneas, inclusivamente leguminosas (Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001). Os teores de matéria orgânica são normalmente superiores a 2,5% e os teores de fósforo e potássio muito variáveis, normalmente baixos a médios (Pires *et al.*, 1994; Moreira *et al.*, 2001).

5. Conclusões

De entre os tratamentos fertilizantes, a adubação azotada originou maior produção de biomassa por ser o elemento mais limitante do sistema. Foi também o elemento em que da quantidade aplicada uma maior percentagem foi recuperada pelas plantas. Isto pode não significar mais eficiência ambiental, porque os outros nutrientes podem encontrar-se ainda no solo e o azoto poderá ter sido perdido para o meio ambiente.

Ainda que a fertilização tenha aumentado a produtividade relativamente à modalidade testemunha, não ficou claro um grande benefício da fertilização destas pastagens naturais.

Referências

- Agroconsultores e Coba. 1991. Carta dos solos do nordeste de Portugal. UTAD, Vila Real.
- Arrobas, M., Afonso, S., Rodrigues, M.A. 2018. Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae* 228, 113–121.
- Avery, A. 1996. Pastures for horses - A winning resource. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, ACT and Dept Natural Resources and Environment, Vic, Australia.
- Beever, D.A., Offer, N., Gill, E.M. 2000. The feeding value of grass and grass products. In: Hopkins, A (ed.) *Grass its Production and Utilization*, Third Edition, Blackwell Science, Oxford, UK, p. 140–190.
- Brady, N. 1990. The nature and properties of soils. 10th ed, Macmillan Publishing company, New York.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen total. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods*. SSSA Book Series: 5. p. 1085- 1121.
- Cakmak, I., Kurz, H., Marschner, H. 1995. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plantarum* 95, 11-18.
- Cakmak, I., Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In: Dell, B., Brown, P.H., Bell, R.W. (eds.). *Boron in Soils and Plants: Review*. *Plant and Soil* 193, 71-83.
- Carneiro, J.P., Simões, N. 2014. Como melhorar a disponibilidade e durabilidade da pastagem – avaliação prévia: parte 1. *Ruminantes* 13, 44–45.
- Clesceri, L., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. APHA, AWWA, WEF.

- Costa, J.B. Caracterização e Constituição do Solo. 2011. Fundação Calouste Gulbenkian Lisboa. 2011.
- Ferreira, A.G., Ribeiro, N.A., Gonçalves, A.C., Dias, S.S., Afonso, T., Lima, J., Recto, H. 2007. Produção silvícola no montado. Análise e reflexão sobre a gestão sustentada dos montados de sobreiro. *Revista das Ciências Agrárias* 30, 181-198.
- Figueiredo, T. 2005. Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do nordeste transmontano. *Série Estudos*, IPB, Bragança.
- Figueiredo, T. 2012. Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial. *Série Estudos* 83. IPB, Bragança.
- Frape, D. 1992. *Nutrición y alimentación del caballo*. Editorial ACRIBIA, S.A.
- Goldberg, S. 1997. Chemistry and mineralogy of born in soils. In: Gupta, U.C. (ed.). *Boron and its Role in Crop Production*. Boca Raton: CRC Press, p.3-44.
- Hall, M.H., Comerford, P.M. 1992. *Pasture and hay for horses*. Penn State College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension, Agronomy Facts 32. ITCF, Paris.
- Keren R. 1996. Boron. In *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. Book Series nº 5: 603-626.
- Lakanen, E., Ervio, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Accta Agr. Fenn.* 123, 223-232.
- Lourenço, M.E., Gonçalves, M.C., Oliveira, A.J., Efe-Serrano, J.M. 1994. Capacidade produtiva das pastagens naturais nas condições do montado alentejano. *Pastagens e Forragens* 14/15, 139-148.
- Martin-Rosset, W., Martin, L. 2015. Nutritional principles for horses. In: W. Martin-Rosset (ed.), *Equine Nutrition: INRA nutrient requirements, recommended allowances and feed tables*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 23–96.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. 2010. *Animal Nutrition*. Seventh Edition, Pearson.
- Mills, H.A., Jones, J.B. Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Inc. USA.

- Moreira, N. 1986. O melhoramento das pastagens de montanha. Ed. UTAD, Vila Real, 73 pp.
- Moreira, N. 1998. Melhoramento das pastagens de montanha. *Pastagens e Forragens* 19, 51-60.
- Moreira, N. 2002. *Agronomia das forragens e pastagens/ Nuno Moreira - Vila Real: UTAD.*
- Moreira, N., Trindade, H., Coutinho, J., Almeida, J.F. 1994. Effects of liming and cultivation on the establishment and persistence of rainfed mediterranean pastures. *Experimental Agriculture* 30, 453-459.
- Moreira, N.; Aguiar, C.; Pires, J.M. 2001. Lameiros e outros prados e pastagens de elevado valor florístico. *Pastagens de Montanha. Direcção Geral de Desenvolvimento Rural. Lisboa. 47pp Pastagens e Forragens, 11 (2): 69-86.*
- Pires, J.M.; Pinto, P.A.; Moreira, N.T. 1994. Lameiros de Trás-os-Montes. Perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha. *Série Estudos, Escola Superior Agrária. Edição do Instituto Politécnico de Bragança. 96 p.*
- Pilliner, S. 1999. *Horse nutrition and feeding. Second Edition. Oxford: Blackwell Science.*
- Pires, J.M.; Centeno, M. S. L.; Rego, F. C.; Roso, J. A. e Carvalho, M. J. R. 1990. Influência da fertilização na composição florística de Lameiros. *Pastagens e Forragens, 11 (2): 69-86.*
- Plancquaert, Ph. 1972. *Connaissance et utilisation de la p rairie permanente. ITCF, Paris.*
- Raposo, J. A.; Centeno, M. S. L.; Pires, J. M. e CARVALHO, M. J. R. 1990 a. Efeito da fertilização na produção de lameiros. I Região planáltica de Bragança. *Pastagens e Forragens, 11 (2): 41-53.*
- RAPOSO, J. A.; CENTENO, M. S. L.; PIRES, J. M. e CARVALHO, M. J. R. 1990 b. Efeito da fertilização na produção de lameiros. II Região da Serra da Falperra. *Pastagens e Forragens, 11 (2): 55-67.*
- Reetz, H.F., Jr. 1994. Site-specific nutrient management systems for the 1990s. *Better Crops* 78 (4), 14-19.

- Reetz, H.F., Jr. 2009. Precision technology for right nutrient management. *Better Crops* 6, 110.
- Reetz, H.F., Jr., P. Heffer, and T.W. Bruulsema. 2015. Nutrient Stewardship: A global framework for sustainable fertilizer management. Chapter 4. In: *Managing Water and Fertilizer for 163 Sustainable Agricultural Intensification*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Reidel, E.J., Brown, P.H., Duncan, R.A., Heerema, R.J., Weinbaum, S.A. 2004. Sensitivity of yield determinants to potassium deficiency in 'Nonpareil' almond (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79(6), 906-910.
- Rodrigues, M.A., Arrobas, M. 2011. Gestão da fertilização azotada em agroecossistemas. In: *Workshop Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. Bragança.
- Rodrigues, M.A., Coutinho, J.F. 2000. Eficiência de utilização do azoto pelas plantas. *Série Estudos*, nº 47. Instituto Politécnico de Bragança, 48 p.
- Rodríguez-Barreira, S. (2000). Estudio de la influencia de la intensidad luminosa sobre la composición química y desarrollo fenológico de distintas especies praterenses. Proyecto fin de carrera. EPS Lugo, USC.
- Santos, J.Q. 2015. Fertilização, fundamentos Agroambientais da utilização dos adubos e corretivos. *Publindústria*, Lisboa.
- Simões, N.M. 2004. A fertilidade do solo e a persistência das pastagens. *Pastagens e Forragens* 24/25.
- Sims. 1996. Lime requirement. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 – Chemical Methods*. SSSA Book Series, 5: 491-515.
- Van Reeuwijk, L. P. 2002. Procedures for soil analysis. Sixth edition. ISRIC. FAO.
- Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Rinne, M., Saastamoinen, M. 2012. Grass physiology and its relation to nutritive value in feeding horses. In: M. Saastamoinen, M.J. Fradinho, A.S. Santos, N. Miraglia (Eds.), *Forages and Grazing in Horse Nutrition*, EAAP Publication nº 132, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 17–43.

Walinga, I., Van vark W., Houba, V.J.G., Van Der Lee, J.J. 1989. Soil and Plant analysis. Part 7, Plant Analysis Procedures. Department of soil science and plant nutrition, p 263.