

**Avaliação do potencial da borra de café fresca na
mineralização do nitrogénio e do fósforo e em culturas
hortícolas**

**“Espresso coffee residues as a nitrogen amendment
for small scale vegetable production”**

Soraia Alexandra Félix da Cruz

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientador: Professora Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil

Júri:

Presidente: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte,
Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade
de Lisboa.

Vogais: Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil,
Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de
Lisboa;

Doutora Cristina Maria Nobre Sobral de Vilhena da Cruz Houghton, Professora
Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

AGRADECIMENTOS

À Professora Cláudia Cordovil, orientadora da tese, pelo seu interesse, confiança, dedicação, disponibilidade diária, profissionalismo e por todas as oportunidades proporcionadas para a divulgação deste trabalho;

À Senhora D. Paula Silva pela sua paciência e ajuda essencial nos processos laboratoriais;

Ao Professor Francisco Manuel Abreu pela sua disponibilidade em fornecer os dados meteorológicos da estação meteorológica da Tapada da Ajuda;

Ao Sr. Joaquim Fernando Cruz Santos e Sr. António Xavier da Silva pela enorme ajuda prestada durante todo o trabalho de campo, disponíveis sempre que precisei;

À Professora Manuela Neves pelo ótimo esclarecimento de dúvidas relativas à análise estatística dos dados deste trabalho;

Às minhas colegas de curso, Mariana Rodrigues e Inês Vicente, que foram uma grande e indispensável ajuda na instalação dos ensaios e que, juntamente com outras colegas e amigas, sempre me deram toda a força que precisei para continuar o meu percurso;

Ao meu companheiro que também sempre esteve disponível para me ajudar durante todo o trabalho de campo e que, juntamente com os meus pais e irmão sempre estiveram presentes durante todo o meu percurso académico;

E finalmente, ao I.S.A. que me proporcionou cinco dos melhores anos da minha vida.

RESUMO

As borras de café são um resíduo produzido diariamente em quantidades consideráveis, tanto em Portugal como no mundo. Este resíduo, embora de valor controverso, tem sido apontado como potencialmente interessante para a nutrição das plantas produzidas a pequena escala. Foram realizados dois tipos de ensaios: incubações, a diferentes temperaturas e condições de humidade, para avaliar o potencial de mineralização de nutrientes a partir das borras aplicadas ao solo; ensaios em condições de campo para avaliar a nutrição de três culturas hortícolas diferentes, a cenoura (*Daucus carota* L.), o espinafre (*Spinacea oleracea* L.) e a alface (*Lactuca sativa* L.) a partir das borras. Foi detetada uma imobilização de nitrogénio e de fósforo em todas as incubações realizadas. Também se verificou um decréscimo no crescimento das plantas na presença de borras de café, no geral, para todas as espécies estudadas, revelando que a inibição da mineralização de N e P teve um efeito inibidor no crescimento das plantas causada também possivelmente, pela presença de cafeína. Portanto, as borras de café tiveram um efeito negativo no crescimento da alface, da cenoura e do espinafre e na exportação de nitrogénio nas plantas devido à baixa disponibilidade de nitrogénio e fósforo.

PALAVRAS-CHAVE: borras de café, culturas hortícolas, incubações, mineralização de fósforo, mineralização de nitrogénio.

ABSTRACT

Espresso coffee grounds are a waste which is produced daily in considerable amounts, and despite controversial opinions, has been pointed out as potentially interesting for small scale plant nutrition. Two experiments have been carried out: incubations at different temperatures and moisture regimes, to evaluate the potential nitrogen and phosphorus mineralization from coffee grounds amended to the soil and field conditions experiments to evaluate carrot (*Daucus carota* L.), spinach (*Spinacea oleracea* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) nutrition and growth. Immobilization of nitrogen and phosphorus was detected in all the incubations performed. Vegetables yield growth and nitrogen uptake also decreased by the presence of espresso coffee grounds, in general, for all the species studied, revealing an inhibition of N and P mineralization and of plant growth. Therefore, espresso coffee grounds use for vegetables growth had a negative effect on plants yield due to the lower availability of nitrogen and phosphorus, and probably the presence of caffeine.

KEYWORDS: espresso coffee grounds, incubations, nitrogen mineralization, phosphorus mineralization, vegetables

EXTENDED ABSTRACT

Today espresso coffee grounds represent a considerable amount of wastes worldwide. This material has no commercial value but, as biodegradable organic waste, can be valued in various ways preventing their landfill, and used as a byproduct for plant production. Several authors pointed out espresso coffee grounds as potentially interesting for plant nutrition in domestic agricultures use.

Two experiments have been carried out to evaluate the potential of nitrogen (N) and phosphorus (P) mineralization in soil and for carrot (*Daucus carota* L.), spinach (*Spinacea oleracea* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) nutrition. In the first set of experiments two incubations were performed at two different temperatures and two different moistures conditions. During the incubations the analysis was mainly based on the evolution of N and P mineralization over 110 days time. To evaluate the potential availability of these nutrients to the crops grown in soil amended with espresso coffee grounds, a second set of experiments was set up under field conditions to evaluate germination, growth and N uptake of the three vegetable plant species mentioned above. The crops were grown separately but all were fertilized with fresh coffee grounds, and compared to the same crops not fertilized with any organic waste. Crops were grown for 81 days and then harvested for analysis.

Immobilization of nitrogen and phosphorus was detected in all the incubations performed and under all the temperature and moisture conditions. This immobilization pattern was consistent with the results obtained in the crops trials. Yield growth was also decreased by the presence of espresso coffee grounds, in general for all the species studied, revealing the effect of an inhibition of N and P mineralization and thus of a lower nutrients availability. Inhibition of plant growth was also possibly due to the presence of caffeine, although this compound was not determined. Therefore, espresso coffee grounds had a negative effect on lettuce, carrot and spinach growth and in plant nitrogen uptake due to the lower availability of nitrogen and phosphorus. The result indicates the uncertain value of coffee residue as an alternative for small-scale farmers and gardeners who cannot afford to regularly purchase mineral fertilizers or want to recycle. More work remains to be done on the potential use of these wastes as byproducts for crop production.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Os Resíduos – Problemática Geral	3
2.1.1 A necessidade de gestão dos resíduos	4
2.2 Os Resíduos Urbanos (RU)	6
2.3 O Café	8
2.3.1 Importância da espécie, produção e consumo	8
2.3.2 A cafeína	11
2.3.3 A importância dos resíduos produzidos	13
2.3.4 Gestão atual e utilizações correntes da borra de café	14
3. JUSTIFICAÇÃO DO TRABALHO	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS; RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÕES	44
6. SUGESTÕES DE MELHORIA	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	53
Anexo I - Variação da temperatura do ar (máxima, média e mínima) e da precipitação total ao longo da duração da experiência realizada em condições de campo	54
Anexo II - Valores médios de concentração de macronutrientes (NPK) presentes no solo final e de matéria seca (M.S.), Nitrogénio Kjeldhal (N_{Kj}) e Exportação de Nitrogénio das plantas colhidas dos vasos fertilizados com resíduo de café (Com RC) e não fertilizados (Sem RC)	55

Anexo III – E-mail de confirmação da submissão do artigo a revista internacional.....	56
Anexo IV - Poster do estudo e dos resultados iniciais deste trabalho apresentado no 18th Nitrogen Workshop.....	57
Anexo V - Capa do livro de Actas do 18th Nitrogen Workshop onde consta este trabalho	58
Anexo VI – Artigo que consta no Livro de Actas do 18th Nitrogen Workshop e do qual resultou o Poster do Anexo IV	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA – analysis of variance

CR – coffee residue

C/N – razão carbono/nitrogénio

DL – decreto de lei

EU – união europeia

M.S. – matéria seca

N_{kj} – nitrogénio Kjeldahl

N_{min} – nitrogénio mineral

NPK – nitrogen, phosphorous and potassium

O.M. – organic matter

RC – resíduo de café

RU – resíduo urbano

TKN – total Kjeldahl nitrogen

TM – tratamento mecânico

TMB – tratamento mecânico e biológico

*Nesta lista não se incluíram símbolos químicos, símbolos de unidade de massa, volume, etc, usualmente utilizados.

1. INTRODUÇÃO

O café é uma das matérias-primas mais importantes no comércio mundial, mas os seus resíduos não têm sido apontados como potenciais subprodutos com igual importância. Os resíduos do café são ricos em compostos orgânicos e inorgânicos mas também podem ser poluentes ambientais (Mussatto *et al.*, 2011). Segundo alguns autores têm um enorme potencial de reutilização devido à sua riqueza em nutrientes e compostos bioativos (Bravo *et al.*, 2012). A produção e consumo mundial de café, responsáveis pela produção de enormes quantidades de resíduos, incluem a polpa, casca, mucilagem, água residual e no processo de extração da bebida do café é ainda gerado um resíduo orgânico, a borra de café (Cruz *et al.*, 2014b).

Hoje em dia os resíduos de café são, em geral, reciclados através da compostagem, vermicompostagem, produção de cogumelos, alimentação animal e, mais recentemente, para a produção de biodiesel e bioetanol (Mussatto *et al.*, 2011). No entanto, a maioria destes processos não é tecnologicamente eficiente e pode causar poluição secundária ou não é economicamente viável. Por outro lado, os resíduos de café têm sido apontados como um material apropriado de calagem, como fertilizante NPK e como promotor da retenção de água e de nutrientes nos solos (Kasongo *et al.*, 2011).

Enquanto Kitou e Yoshida (1997) afirmaram que a aplicação direta de resíduos de café não é adequada para a fertilização, outros apontam a borra de café fresca e tratada para melhorar a capacidade antioxidante de alface (Cruz *et al.*, 2014a). Até há pouco mais de um século atrás, quando o processo para a produção de fertilizantes minerais ainda não tinha sido descoberto, muitos resíduos eram utilizados na agricultura criando uma procura muito maior por esses materiais do que aquela que se verifica atualmente (Santos, 2001). Valorizar os resíduos na agricultura e noutras atividades é uma prática que se pretende aumentar, com vista à proteção ambiental e à manutenção dos recursos naturais (Cordovil, 2004). Um exemplo destas práticas é a utilização de resíduos orgânicos como fertilizante das culturas e como melhorador da qualidade do solo.

As borras de café são geradas diariamente em atividades de restauração em quantidades significativas e podem ter um grande potencial para uso na agricultura doméstica, tanto pela adição direta no solo ou pela mistura em pilhas de compostagem doméstica. A eficiência desta prática ainda não é suportada cientificamente e a segurança do seu uso com finalidades para fertilização ainda carece de confirmação.

Embora a literatura sobre o uso de resíduos de café como correção do solo seja limitada, algumas experiências indicaram que o processamento de resíduos de café tem potencial para os tornar num valioso fertilizante orgânico (Kasongo *et al.*, 2011).

O objetivo deste estudo foi testar a influência da aplicação de borras de café frescas (não tratadas) ao solo para avaliar o seu potencial como fertilizante orgânico em produções hortícolas de pequena escala. Mais concretamente no que diz respeito à capacidade de mineralização de N e P no solo e à disponibilidade de macronutrientes (NPK) para algumas culturas hortícolas avaliando-se também, neste caso, a exportação de nutrientes e o crescimento dessas culturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 OS RESÍDUOS – PROBLEMÁTICA GERAL

Etimologicamente, a palavra resíduo que surgiu no século XIV deriva do latim “residuu” para traduzir a diminuição do valor económico de uma matéria, gerada pelas atividades produtivas e de consumo, até que se torna inutilizável num dado lugar e num dado tempo (Pitchat, 1995). Atualmente o conceito de resíduo é aplicado a um número maior de materiais provenientes de atividades agrícola, industrial e urbana, mas resume-se aos materiais que não têm valor económico no contexto em que são produzidos (OCDE, 2014). Este conceito tende a ser substituído pela designação de subproduto sempre que o resíduo possa ser reutilizado/reciclado na mesma ou noutra atividade económica (Dec Lei 73/2011).

A problemática da gestão de resíduos é um assunto que tem acompanhado a evolução da humanidade (Martinho & Gonçalves, 2000). Durante séculos, as sociedades produziram essencialmente alimentos de fácil assimilação e decomposição e bens duradouros à base de matérias-primas naturais (madeira, couro, lã, algodão) ou muito pouco transformadas (cerâmica, por exemplo), aproveitando a energia em quantidades reduzidas. Os resíduos gerados eram inertes ou facilmente degradáveis e não constituíam um problema. Ao longo dos tempos foram comuns práticas hoje consideradas inadequadas como a deposição de resíduos no solo ou o seu lançamento em cursos de água (Almeida *et al.*, 2005).

Foi maioritariamente a partir da Revolução Industrial que o problema dos resíduos surgiu. A enorme expansão da indústria originou o crescimento exponencial da população nas áreas urbanas, o que resultou num conseqüente aumento da produção de resíduos urbanos (RU) entre outros (Martinho & Gonçalves, 2000). Estas razões associadas ao estilo de vida dominante nos últimos séculos conduziram a que se tenha vindo a assistir a uma tendência geral para o aumento da produção de resíduos (Gonçalves, 2005).

2.1.1 A necessidade de gestão dos resíduos

O manuseamento impróprio e o destino dado aos resíduos em geral tem sido uma das grandes causas da poluição e degradação ambiental a nível mundial. Atualmente, nos países em desenvolvimento ainda existe o risco de ameaça da qualidade ambiental e da saúde pública devido ao facto da maior parte dos resíduos gerados, principalmente os resíduos urbanos, ainda serem despejados em lixeiras abertas (Vashi & Shah, 2003). Nos países mais desenvolvidos, estes antigos processos de gestão de resíduos tornaram-se completamente inadequados para assegurar um mínimo de segurança em termos ambientais (Santos, 2001). De facto, a saúde e a segurança têm sido, ao longo da história, as maiores preocupações em relação à gestão de resíduos de todas as proveniências (Martinho & Gonçalves, 2000).

Nos dias de hoje entende-se a gestão de resíduos como o conjunto das atividades de carácter técnico, administrativo e financeiro, necessárias à deposição, recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, incluindo o planeamento e a fiscalização dessas operações, bem como a monitorização dos locais de destino final. É essencial que estas atividades se processem de forma ambientalmente correta e por agentes devidamente autorizados ou registados para o efeito estando proibidas a realização de operações de tratamento de resíduos não licenciadas, o abandono de resíduos, a descarga de resíduos no mar e a sua injeção no solo, a queima a céu aberto, bem como a descarga de resíduos em locais não licenciados para realização de tratamento de resíduos (APA, 2014).

Até há bem pouco tempo, a gestão de resíduos urbanos em Portugal baseava-se na simples recolha indiferenciada e na sua deposição em aterro ou, na melhor das hipóteses, em vazadouro controlado (Martinho & Gonçalves, 2000). Atualmente, a deposição em aterro representa 43% do destino direto dos RU mas, apesar de ser o mais elevado, esta percentagem desceu 12 pontos percentuais face a 2012, um decréscimo bastante superior ao verificado nos últimos anos (Figura 1). Este resultado reflete a entrada em funcionamento de algumas das unidades de tratamento mecânico e biológico (TMB) e tratamento mecânico (TM) previstas, assumindo-se como um passo importante na inversão da tendência de preponderância do aterro como destino direto dos RU (APA, 2014).

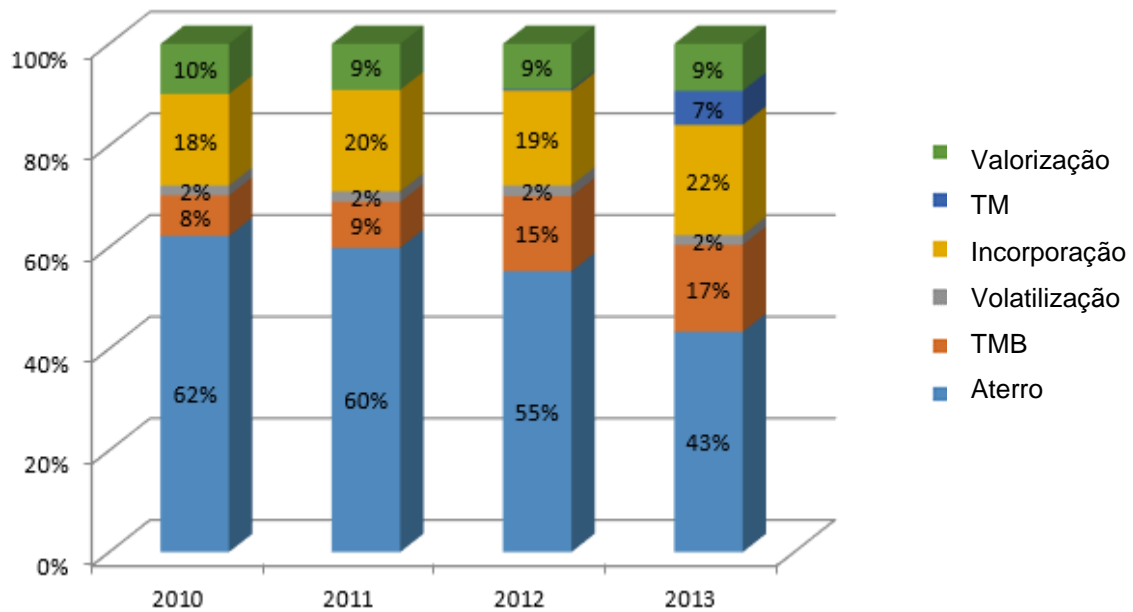


Figura 1 – Destinos dos resíduos urbanos em Portugal, de 2010 a 2013 (APA, 2014).

Hoje em dia existe realmente uma crescente exigência das populações que determinam uma maior necessidade de se proceder à recolha e correto tratamento dos resíduos num enquadramento ambientalmente adequado e de forma sustentável (Santos, 2001). A problemática da gestão dos resíduos tem vindo a adquirir um interesse cada vez maior, não só porque os quantitativos a remover são sucessivamente mais elevados, mas também porque a sua composição é cada vez mais complexa. (Santos, 2001). Torna-se, portanto, necessário encontrar alternativas para o seu tratamento ou valorização, ou seja, os sistemas de gestão precisam de ser mais sustentáveis e eficientes. (Gonçalves, 2005). Assim, para além dos fatores saúde e segurança, a gestão de resíduos tem associada três grandes áreas de preocupação: a conservação dos resíduos, os riscos ambientais associados a novas tecnologias e a necessidade de alteração de comportamentos e coresponsabilização de todos os agentes envolvidos (Martinho & Gonçalves, 2000).

Atualmente, a tendência é dar prioridade à reutilização, reciclagem e valorização dos RU em substituição de outras técnicas de gestão (Moreno, 2001). A recuperação dos resíduos ou dos seus constituintes que apresentem algum valor económico parece ser uma das formas mais atraentes para solucionar o problema da gestão dos resíduos (Cabral & Moris 2010).

2.2 OS RESÍDUOS URBANOS (RU)

Os resíduos urbanos (RU) são definidos no Decreto de Lei nº178/2011 de 17 junho como resíduos provenientes de habitações bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes de habitações. Assim, são considerados resíduos urbanos os produzidos pelos agregados familiares (resíduos domésticos), por pequenos produtores de resíduos semelhantes (produção diária inferior a 1,100L) e por grandes produtores de resíduos semelhantes (produção diária igual ou superior a 1,100L) (APA, 2014).

Em Portugal temos vindo a assistir a uma tendência de decréscimo da produção de RU que se tem verificado desde o ano de 2010. Estima-se que em 2013 foram produzidas em Portugal 4,607 mil toneladas (t) de RU, menos 4% do que em 2012 (Quadro 1).

Quadro 1 - Produção de resíduos urbanos (toneladas) em Portugal nos anos de 2011, 2012 e 2013 (APA, 2014).

Região	2011	2012	2013
Portugal Continental	4.888	4.525	4.362
Região Autónoma da Madeira	124	114	106
Região Autónoma dos Açores	147	143	139
Total	5.159	4.782	4.607
Varição face ao ano anterior (%)	↓ 6	↓ 7	↓ 4

Os RU têm uma determinada composição em termos do tipo de material que os compõem e do peso relativo de cada material. A sua composição varia de zona para zona, de acordo com a época do ano, com o nível socioeconómico e com os hábitos da população (Cunha-Queda & Duarte, 2004). Aos problemas inerentes ao processamento de grandes volumes de RU, acresce o facto de estes terem potencial poluente. Cerca de 36% dos RU produzidos em Portugal constituem a fração orgânica facilmente biodegradável que, quando não tratada, é substrato ideal para a proliferação de vírus, bactérias, protozoários, fungos e vermes. No entanto, esta fração orgânica dos RU pode ser valorizada evitando a deposição de material orgânico facilmente fermentável em aterro sanitário. (Almeida *et al.*, 2005).

Desde tempos imemoriais que o Homem reconhece o facto de que a transformação biológica natural de diversos resíduos orgânicos origina determinados produtos, os quais, quando aplicados ao solo, permitem a manutenção dos rendimentos das culturas (Santos, 2001). A vantagem da utilização agrícola destes resíduos não se prende apenas com o aumento da oferta de nutrientes, mas também com o aumento da matéria orgânica do solo, melhorando não só as suas propriedades químicas como também a densidade, a porosidade e a capacidade de retenção de água. Desta forma melhoram-se as propriedades biológicas através do enriquecimento da atividade macro, meso e microbiológica do solo (Cordovil, 2004). No entanto, é importante lembrar que a matéria orgânica dos solos, bem como os resíduos orgânicos neles depositados, sofrem mineralização a uma taxa muito variável, que vai depender de um conjunto de interações complexas entre fatores biológicos, químicos e físicos do solo, e fatores exteriores ao solo mas inerentes aos resíduos (Cordovil, 2004).

Dado que os resíduos urbanos contêm matéria orgânica e, nalguns casos, quantidades apreciáveis de alguns nutrientes vegetais, o seu efeito fertilizante pode constituir um complemento, ou mesmo uma alternativa, a outras formas de tratamento (Santos, 2001). Se existe a preocupação de valorizar a fração orgânica dos RU é necessário ter em conta que o seu contacto com os restantes RU deve ser evitado para que não ocorram contaminações, quer por metais pesados, quer por microrganismos patogénicos de origem humana e/ou animal, geralmente associados à fração biodegradável dos resíduos sólidos urbanos (Vallini *et al.*, 1993). Também é importante ter em atenção que os RU possuem níveis de salinidade elevados o que impede o seu uso em grandes quantidades (Varenes, 2003). Um componente significativo dos RU é, sem dúvida, o resíduo gerado pela extração da bebida de café.

2.3 O CAFÉ

2.3.1 Importância da espécie, produção e consumo

A planta do café, denominada por Cafeeiro, pertence à família das Rubiaceas, género *Coffea*, e engloba cerca de 60 espécies. Contudo, apenas duas espécies, a *Coffea arábica* L. e a *Coffea canéfora* L., conhecidas respetivamente como arábica e robusta, são internacionalmente comercializadas (Ferrão, 2009). O café arábica descende dos pés de café originais da Etiópia e responde por cerca de 70% da produção mundial. Esta variedade é característica de um sabor mais suave e aromático. O café robusta representa cerca de 30% do mercado mundial sendo mais influente no sudoeste asiático e no Brasil. Os grãos desta variedade produzem um café de sabor amargo com cerca de 50% mais cafeína do que o arábica. Apesar de crescer por todo o mundo, a planta do café apresenta um maior desenvolvimento em locais frios e húmidos, situados em altitudes mais elevadas dos trópicos e subtópicos. A terra, o clima, a altitude e as plantas vizinhas são alguns dos fatores que afetam o sabor dos grãos, motivo pelo qual existem diferenças entre os cafés provenientes de várias zonas diferentes (AICC, 2011).

O café é uma das matérias-primas da agroindústria de maior valor económico no comércio mundial ocupando o segundo lugar, logo a seguir ao petróleo (Ferrão, 2009; AICC, 2014). Devido às suas propriedades únicas de sabor e aroma, o café está entre as bebidas mais consumidas na Europa e na América, apenas superada pela água (Brezová *et al.*, 2009). Sendo fundamental para a economia e política de muitos países em desenvolvimento, a exportação de café chega a contribuir com até 70% das divisas transacionadas no país. De facto, a atividade cafeeira é muito importante no processo de estruturação das economias dos países produtores, tão importante que alguns desses países podem mesmo entrar em colapso no caso de ocorrer um grave desequilíbrio no mercado (AICC, 2014).

É amplamente reconhecido que, em termos sociais, o café desempenha um papel importante no estabelecimento da população agrícola e na criação de emprego nas zonas rurais. O café também permite uma maior distribuição de rendimento dentro das famílias de agricultores, particularmente em regiões mais pobres (ICO, 2014). O preço de venda do café determina a viabilidade de cultura, desencorajando por vezes as camadas mais jovens da população e levando-os a procurar os centros urbanos. Este facto compromete a sustentabilidade da economia do café, nos países altamente

dependentes desta cultura como modo de subsistência. A dimensão humana desta cultura é muito importante em países pobres (ICO, 2014).

A dinâmica da produção mundial de café é geralmente caracterizada por uma instabilidade considerável. Ao longo dos últimos 50 anos tem-se verificado um crescimento constante na produção mundial de café, intercalado com quedas periódicas (Figura 2). A taxa média de crescimento da produção de café desde 1963 foi de 2.4%, com 2.8% de crescimento anual no período. Desde 1990 que o aumento na produção mundial de café é cerca de 2% por ano (ICO, 2014; INE, 2012) chegando a ser superior a 105 milhões de toneladas por ano (Ximenes, 2010).

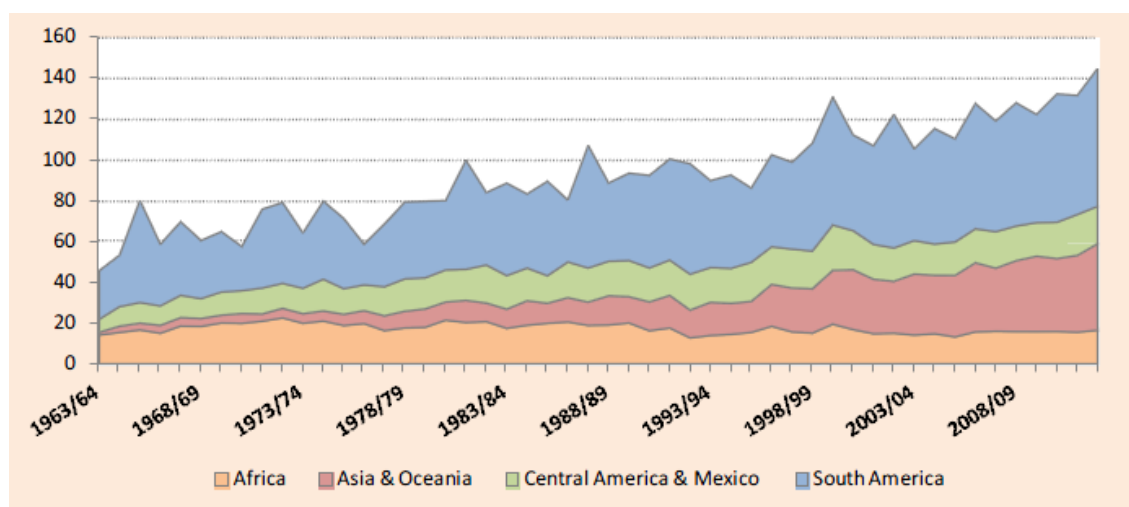


Figura 2 - Produção mundial de café por região (1963/64 – 2012/13) (Mt) (ICC, 2014)

Em relação ao consumo mundial de café sabe-se que este aumentou a uma taxa média de crescimento anual de 1.9% nos últimos 50 anos, desde 57.9 milhões de sacas em 1964 a 142 milhões de sacas em 2012. Esta taxa de crescimento acelerou desde 1990 para 2.1% e 2.4% a partir de 2000. Nos vários continentes a procura do café está dependente dos diferentes rendimentos, culturas, gostos, expectativas e preços de outras bebidas substitutas e complementares (ICO, 2014).

Os dados mais recentes revelam um consumo de café de cerca 12,1 g por habitante por dia (INE, 2012). Também é estimado que 1 kg de café torrado gera aproximadamente cerca de 60 chávenas para consumo, contabilizando as perdas e a utilização de água e/ou leite e açúcar em cada chávena (relativamente ao consumo de café fora de casa) (ICO, 2014). Posto isto podemos afirmar que são consumidas, em média, cerca de 0,7 chávenas de café por habitante por dia.

Existe um conceito muito interessante de mencionar no que diz respeito ao café: “Coffee value chain”. O conceito de uma cadeia de valor refere-se a todas as receitas geradas pelas atividades realizadas ao longo de toda a cadeia de fornecimento de um produto, desde a produção até o uso final. Como no caso de muitas outras matérias-primas agrícolas, as atividades envolvidas na cadeia de produção do café são divididas entre os países produtores, que geralmente exportam café verde, e os países consumidores, que transformam o café verde importado em produtos para o consumo final (ICO, 2014).

O Brasil, apesar de ser o maior produtor mundial de café, e o segundo maior mercado consumidor, ainda está longe de alcançar a Itália e a Alemanha, maiores exportadores do mundo, quando se trata de café industrializado. A Alemanha é também a maior compradora de café verde (em grãos) (SindiCafé-MG, 2010).

Portugal é um pequeno importador de café da UE com um consumo bastante significativo: cerca de 80% da população portuguesa consome café diariamente. Em 2009, o consumo de café em Portugal ascendeu a 43 mil toneladas, o que significa um aumento médio anual de 2,4% em relação ao período 2005-2009. Portugal é o décimo primeiro maior mercado da UE para o café, sendo responsável por 1,9% do mercado total da UE em 2009. Já o consumo *per capita* de café verde manteve-se estável nos últimos anos, no valor de cerca de 4,0 kg em 2009, que está abaixo da UE cuja média é de 5,0 kg (Cafeicultura, 2010).

2.3.2 A cafeína

A principal razão para o consumo da bebida de café reside no seu efeito estimulante devido à presença de uma substância à qual chamamos cafeína, um dos compostos ativos comuns mais consumidos. Os teores de cafeína dependem muito das espécies, variedades e condições de cultura praticadas (Ferrão, 2009). A cafeína (1, 3, 7 trimetilxantina) é um alcalóide presente em mais de sessenta espécies vegetais (Suzuki & Waller, 1988) e assim, como para muitos alcalóides, o seu papel fisiológico ainda é desconhecido.

Os poucos dados que existem indicam a cafeína como um agente alelopático e anti-herbivoria. Por confrontação com outros trabalhos não relacionados especificamente com o papel fisiológico de cafeína, esses dados são discutidos e contestados. Várias revisões mostram a dificuldade em se estabelecer o papel dos alcalóides em plantas (Robinson, 1968,1974; Waller & Nowacki, 1978). Outros trabalhos confirmaram o efeito alelopático da cafeína (Chou & Waller, 1980; Shettel & Balke, 1983; Smyth, 1992; Waller *et al.*, 1986), mas outros estudos realizados em laboratório demonstraram que as sementes de café libertam cafeína durante a germinação, podendo, inclusivamente, causar autoinibição da germinação (Baumann & Gabriel, 1984; Friedman & Waller, 1983a; Suzuki & Waller, 1987).

Trabalhos realizados por Waller *et al.* (1986) concluíram que, sendo a cafeína fortemente retida pelas argilas do solo (Lailach *et al.*, 1968), no solo coletado sob a planta haveria saturação das mesmas pelo alcalóide. No entanto, a hipótese de que a cafeína poderia ser degradada no solo foi considerada pouco provável. Segundo os autores, a cafeína poderia sim, inibir o desenvolvimento de microrganismos, acumulando-se mais ainda no solo.

Alguns autores indicaram também a cafeína como um inseticida natural mas os dados citados não são fortes indicadores de que a cafeína atue como repelente ou que tenha realmente esse efeito (Nathanson, 1984).

Também se discute a cafeína como uma molécula armazenadora de nitrogénio e o seu possível envolvimento com a resistência de doenças. A cafeína tem 4 átomos de N, quase 29% da molécula, e uma relação C/N = 2. Com isto, ela poderia ter a função de armazenar nitrogénio. Atuando como molécula armazenadora de N, a cafeína poderia ser degradada localmente ou translocada para outras partes da planta, liberando posteriormente o nitrogénio nela contido (Mazzafera *et al.*, 1996). Desde que não ocorra o transporte de cafeína entre órgãos de uma mesma planta, a cafeína intra

e intercelular poderá ser metabolizada localmente para liberação do nitrogénio nela contida. Vários autores afirmam que em frutos e folhas de café, a cafeína pode ser degradada completamente até se formar amoníaco (Suzuki & Takahashi, 1975; Suzuki & Waller, 1984a, 1984b). Porém, o fornecimento de cafeína marcada com radioisótopos mostrou que em várias espécies de café a taxa de degradação de cafeína é praticamente nula, em períodos relativamente curtos (Mazzafera, 1993; Mazzafera *et al.*, 1991; Mazzafera *et al.*, 1994). Apesar de sementes de café conterem considerável quantidade de cafeína, vários trabalhos mostraram que durante a germinação este alcalóide não atuaria como fator nutritivo (Baumann & Gabriel, 1984; Mazzafera, 1990; Suzuki & Waller, 1987).

É também de conhecimento geral que o café constitui uma fonte notável de antioxidantes bastante comparável com outras bebidas, como por exemplo, o vinho tinto ou o chá verde. Investigações realizadas a dois dos componentes do café, o ácido cafeico e a cafeína, indicaram uma elevada atividade antioxidante do ácido cafeico mas nenhuma ação antioxidante da cafeína. No entanto, empregando uma fonte oxidante mais reativa, ambos os componentes mostraram uma notável atividade de eliminação de radicais hidroxilo (Brezová *et al.*, 2009).

Existem ainda algumas espécies e cultivares de café que produzem grãos sem cafeína, geralmente denominado de café descafeinado, dando aos consumidores que não procurem a ação estimulante que a cafeína lhes confere a possibilidade de apreciar a bebida (Ferrão, 2009).

2.3.3 A importância dos resíduos produzidos

Ao consumo elevado de café encontra-se associada a produção de uma grande quantidade de resíduos de baixo valor. Estudos realizados evidenciaram que somente 6% da colheita de café é utilizada na preparação da bebida. Os restantes 94% correspondem a resíduos sendo, a maioria, originada durante o processo de produção do café decorrentes da lavagem e despolpa do fruto do cafeeiro (Matos, 2003). Estes resíduos incluem a polpa, a casca, a mucilagem e a água residual. No processo de extração da bebida de café, é ainda gerado um resíduo orgânico, a borra de café (Cruz *et al.*, 2014a).

Apesar de ser obrigatória a separação da borra de café do lixo comum nos estabelecimentos comerciais, o seu destino acaba por ser o mesmo: as borras de café são tratadas como RU em geral e o seu destino final é o aterro, constituindo uma ameaça ambiental (Moreno, 2001). A reutilização dos resíduos do café tem sido uma das prioridades dos países produtores, tanto por razões ecológicas como económicas e sociais.

A polpa e a casca de café são, de entre os resíduos, os mais estudados a nível mundial por serem produzidos em elevadas quantidades e por apresentarem grande capacidade poluente. Os países importadores de café, incluindo Portugal, são corresponsáveis por estes resíduos, mas contactam quase exclusivamente com a borra de café (Tokimoto *et al.*, 2005).

Em 1985, Adans & Dougan estimaram que as indústrias de café solúvel geravam aproximadamente 34 toneladas de borra de café por dia. Devido ao elevado crescimento do consumo de café, hoje em dia a borra de café constitui um volume de resíduos ainda mais representativo, estimando-se, só em Portugal, uma produção de 40 mil toneladas por ano. A nível mundial, estima-se que sejam produzidos anualmente cerca de 6 milhões de toneladas de borra de café (Tokimoto *et al.*, 2005). Pondera-se que cerca de 1kg de café torrado origine aproximadamente o dobro de borras de café húmidas. Em média existe uma produção de cerca de 2,3 kg de borra húmida por cada kg café bebida o que, atendendo aos locais onde são produzidas, facilitará a segregação deste resíduo orgânico se se realizar a sua separação e recolha seletiva, contribuindo para que não ocorra a sua contaminação (Arruda, 2006).

Vários são os factos que tornam importante um estudo mais cuidado acerca das borras de café. Este subproduto não tem valor comercial mas, enquanto resíduo

orgânico biodegradável, pode ser valorizado de várias formas evitando a sua deposição em aterro. (Moreno, 2001).

2.3.4 Gestão atual e utilizações correntes da borra de café

Atualmente, as borras de café, quando não depositadas em lixeiras, são utilizadas como combustível em caldeiras, em geral na própria indústria, apresentando diversos problemas a nível da emissão de poeiras e partículas, com implicação na qualidade atmosférica. Esta prática é muito utilizada na própria indústria de café solúvel, à semelhança do que acontece nas indústrias sucroalcooleiras, que aproveitam o bagaço da cana para a cogeração de energia. Nestas indústrias de café solúvel é necessário realizar adaptações nas caldeiras para que haja combustão de forma eficiente e não ocorra a produção de materiais poluentes. Para ser utilizada nas caldeiras a borra tem que passar por um processo de secagem prévia. Esta secagem é necessária porque a borra húmida gera uma grande quantidade de vapor o que implica maiores custos operacionais (necessidade de complemento de combustível) e maior tamanho da câmara devido ao volume de vapor de água, ou seja, a humidade reduz o poder calorífico da borra. (Viotto, 1991).

No entanto, recentemente têm sido testadas diversas alternativas de uma utilização mais interessante para estes resíduos. Os estudos que existem prendem-se com a elaboração da compostagem, vermicompostagem, produção de biodiesel e bioetanol, utilização na alimentação animal e produção de cogumelos (Pandey *et al.*, 2000; Kondamudi *et al.*, 2008; Mussato *et al.*, 2011) e outras formas de gestão mais simples e correntes, como a utilização na jardinagem.

Compostagem

À semelhança de outros resíduos orgânicos, a borra de café pode ser submetida a um processo de compostagem previamente à sua utilização como fertilizante orgânico. Os materiais orgânicos dos resíduos, na sua grande maioria, necessitam de sofrer transformações para que adquiram características capazes de induzir mudanças benéficas no solo sob o ponto de vista da sua qualidade física, química e biológica (Ferreira, 2011).

A compostagem tem como objetivo fazer o tratamento dos resíduos orgânicos através de um processo biológico, sendo o material orgânico transformado, pela ação de microrganismos, em material estabilizado e utilizável na preparação de corretivos orgânicos do solo e de substratos para as culturas. Este método é uma forma de reciclagem muito importante uma vez que, sendo a grande maioria dos resíduos gerados de natureza orgânica, torna viável a sua utilização na agricultura (Vashi & Shah, 2003).

Ferreira (2011) avaliou os efeitos da aplicação de borra de café compostada em plantas de alface, nomeadamente no que diz respeito ao crescimento e à capacidade antioxidante desta espécie. Através da análise microscópica das raízes das plantas o autor observou que não houve diferenças significativas no número de feixes vasculares do xilema face às plantas de controlo. Para além disso, verificou que a capacidade redutora total dos extratos de alface foram também semelhantes às de controlo. Contudo, no geral, foi demonstrado que este resíduo compostado, quando adicionado ao solo, aumenta a biomassa, os pigmentos fotossintéticos e os macronutrientes foliares das plantas. Portanto, a compostagem da borra de café mostra ser uma prática importante e essencial para que se possa utilizar em segurança este resíduo como fertilizante orgânico.

Vermicompostagem

A vermicompostagem tem sido identificada como uma atividade potencial na gestão de RS, uma vez que é um processo natural, de custo eficaz e é necessário apenas uma curta duração para a realizar (uma ou duas semanas). A vermicompostagem pode também ser classificada como um processo de biotecnologia simples de compostagem onde se faz uso de certas minhocas para melhorar o processo de conversão de resíduos (Nair *et al.*, 2006). Como RS, as borras de café podem também ser decompostas através da vermicompostagem.

Adi & Noor (2009) avaliaram este processo usando *Lumbricus rubellus* numa combinação de três diferentes tratamentos que incluíam estrume de vaca, resíduos domésticos e borras de café. No final dos ensaios verificaram que a multiplicação das minhocas (em termos de número e peso) aumentou significativamente apenas nos tratamentos que incluíram borras de café, apresentando estes também uma elevada percentagem de elementos nutritivos no vermicomposto produzido. Este estudo revelou que, definitivamente, as borras de café podem ser decompostas através da

vermicompostagem proporcionando um melhor ambiente que promove o crescimento das minhocas e ajudam também a melhorar bastante a qualidade do vermicomposto produzido.

Outros autores defendem que as borras de café necessitam de ser misturadas, em quantidades controladas, com elementos estruturantes, ricos em carbono (resíduos lenho-celulósicos) como são exemplo a biomassa florestal (aparas de pinheiro, oliveira ou eucalipto, palha, ou papel e cartão). Este aspeto é devido ao elevado teor em nitrogénio e reduzida granulometria das partículas das borras de café que favorecem a compactação, aumentando as forças de coesão quando adicionada água. Estes elementos estruturantes possuem como objetivo a otimização das características físicas do substrato, uma vez que aumentam a sua porosidade e arejamento, facilitando as trocas gasosas entre a pele da minhoca e o meio, bem como a sua movimentação. Para além desse aspeto, a mistura com estes materiais tem como objetivo a inviabilização das perdas de nitrogénio na forma amoniacal por volatilização e lixiviação, sendo este assim utilizado para síntese celular das comunidades microbianas ao passo que o carbono existente no elemento estruturante é utilizado como fonte de energia (Lourenço, 2010).

Alimentação Animal

Entre as várias aplicações possíveis das borras de café podemos ainda citar o uso na ração para animais devido à sua elevada quantidade de fibras alimentares. No entanto, como a borra de café é pobre em aminoácidos essenciais, a alimentação animal tem que ser complementada com outros tipos de ração (Viotto, 1991). Alguns autores já tinham comprovado que a borra de café só por si não representa uma alimentação completa para os animais.

Um estudo com bovinos holandeses comparou rações em que os grãos foram substituídos pelas borras de café, em diferentes taxas, e os resultados obtidos foram esclarecedores. Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta e energia diminuíram, e a gordura bruta aumentou progressivamente à medida que as concentrações de borra de café na ração foram aumentadas. Houve também uma diminuição significativa na retenção e utilização de nitrogénio nas rações que continham as duas taxas mais elevadas de resíduo. As borras de café também contribuíram para a diminuição do consumo de ração, aumentaram o fluxo urinário e a ingestão de água mas causaram diurese e irritação renal, na uretra e na_bexiga dos

animais. Os autores observaram também que, ratos alimentados com rações contendo uma taxa considerável de borra de café fresca viram o seu ganho de peso significativamente reduzido (Campbell *et al.*, 1976).

Outros autores também verificaram esta possibilidade de se utilizar as borras de café na ração animal para ruminantes, suínos, galinhas e coelhos. As análises mostraram um teor de parede celular elevado mas os coeficientes de energia bruta e de digestibilidade “in vivo” da matéria orgânica foram bastante baixos. Tal como observado no estudo mencionado anteriormente, a baixa energia digestível e o teor negativo de energia metabolizável levaram estes autores a concluir que a borra de café não é apropriada para a alimentação de ruminantes (Givens & Barber, 1986).

Não foram encontrados estudos recentes relativos a este assunto. Uma vez que as investigações existentes mostram que as borras de café não são interessantes para serem utilizadas como ração dos animais este método de gestão tornou-se pouco promissor para a realização de mais estudos.

Produção de Biodiesel e Bioetanol

Para além de todas as características já mencionadas, a elevada quantidade de lípidos presente na borra sugerem também a possibilidade do uso de óleo extraído da borra de café na produção de biodiesel e etanol (Mussato *et al.*, 2011).

Rocha *et al.* (2010) foram alguns dos autores que confirmaram o potencial das borras de café como matéria-prima para a produção de biodiesel e etanol através do estudo e otimização da extração por solvente assistida por ultra-som. O óleo obtido a partir das borras de café foi convertido em ácidos gordos e, de seguida, em biodiesel através de esterificação assistida por ultra-som. O rendimento em biodiesel foi de 97%. As borras de café isentas de óleo tinham potencial de aplicação na produção de hidratos de carbono para a produção de etanol através da fermentação utilizando *Saccharomyces cerevisiae*.

Vários foram os trabalhos que investigaram a viabilidade da produção de biodiesel a partir do óleo extraído das borras de café, uns com mais sucesso que outros.

Caetano *et al.* (2012) testaram vários solventes para extrair esse óleo: hexano, etanol, isopropanol, heptano e uma mistura de hexano/isopropanol em várias proporções. A extração do óleo com isopropanol e a mistura de hexano/isopropanol (50:50, v/v) foram as que permitiram uma recuperação de óleo mais elevada (21 e

21,5%, respetivamente), a um custo relativamente baixo. Posteriormente, para ser avaliada a possibilidade de utilizar o óleo recuperado das borras na produção de biodiesel, e devido ao elevado teor de ácidos gordos livres, o óleo teve que ser esterificado antes da transesterificação. O rendimento da reação variou entre 58,8 e 62,2% em peso mas a qualidade do biodiesel obtido estava fora dos limites padrão de qualidade para todos os parâmetros avaliados. Várias sugestões de melhoria foram mencionadas, tais como a secagem da borra de café.

Contrariamente, Kwon *et al.* (2013) obtiveram resultados bastante mais promissores na sua investigação à coprodução sequencial de bioetanol e biodiesel a partir de borras de café. Várias alternativas de conversão foram estudadas. A conversão direta de bioetanol a partir de borras de café não foi considerada por estes autores como uma opção desejável devido ao comportamento de sacarificação enzimática relativamente lenta na presença de triglicéridos e de ácidos gordos livres encontrados nas matérias-primas. Da mesma forma, a transformação direta das borras de café em etanol sem primeiro extrair os lípidos não foi considerada uma alternativa viável. No entanto, os lípidos brutos extraídos das borras de café foram por si próprios convertidos em éster metílico de ácido gordo e éster etílico do ácido gordo através da reação de transesterificação de biodiesel não-catalítico. Os rendimentos de bioetanol e biodiesel foram de $0,46 \text{ gg}^{-1}$ e $97,5 \pm 0,5\%$ validando assim a teoria inicial destes autores de que as borras de café são um forte candidato para a produção de bioetanol e biodiesel.

As borras de café são abordadas cada vez mais como um dos recursos biológicos mais abundantes no mundo para o uso como energia verde (Kondamudi *et al.*, 2008).

Para obter biocombustíveis a partir destes resíduos, como o biodiesel e o bioetanol, as borras de café precisam de sofrer um processo de secagem devido ao seu elevado teor de humidade. Cruz *et al.* (2015) analisaram este aspeto a partir de ensaios de secagem isotérmica num secador por convecção a diferentes temperaturas e espessuras de amostra. As curvas de secagem foram ajustadas com os modelos matemáticos propostos pelos investigadores. Este trabalho demonstra que o processo de secagem é fundamental para a produção de biocombustíveis a partir das borras de café.

Muito provavelmente, os resultados menos promissores obtidos por Caetano *et al.* (2012) são explicados pela falta deste processo. Se tivessem incluído esta etapa de secagem das borras durante o seu estudo, estes autores poderiam ter obtido um biodiesel de muito melhor qualidade do que aquele que obtiveram na realidade.

Jardins e Horticultura

Contudo, a forma mais simples e corrente de gestão deste resíduo é a sua utilização em jardins. São inúmeros os sites/blogs que podemos visitar relativos a este assunto e que nos incentivam a utilizar as borras de café frescas na horticultura e nos nossos jardins. Alguns chegam mesmo a explicar, passo a passo, como devemos adicionar este resíduo nas plantas e misturá-lo no solo, quais as flores e vegetais que são mais beneficiados e porquê, etc. Para além disso, são inúmeros os testemunhos que afirmam que certas pragas não gostam de café e ao adicionar as borras ao solo das plantas podemos afastá-las. O facto das borras de café atuarem como repelente é um assunto abordado pela maioria dos sites/blogs uma vez que se torna em mais um argumento que os *bloggers* usam para considerarmos este método na gestão das borras de café (WikiHow, 2014; Rui, 2008; Faroleco, 2013; McIntire-Strasburg, 2011; Shanegenziuk, 2010).

Produção de Cogumelos

No entanto, a forma de reciclagem mais abordada cientificamente está relacionada com a produção de cogumelos. Vários são os estudos que comprovam a sua eficiência especialmente na produção dos cogumelos da espécie *Pleurotus* e *Flammulina velutipes* que possuem um rápido crescimento do seu micélio, elevada resistência a pragas, exigem pouco controle do ambiente para o seu cultivo e não necessitam que o substrato sofra uma compostagem prévia (Rivas *et al.*, 2010).

Fan & Soccol (2002) demonstraram que a borra de café é um excelente substrato que permitiu a produção de três fluxos de cogumelo em 60 dias de cultivo atingindo uma eficiência biológica de 90,4%.

Da mesma opinião são os autores Fan *et al.* (2000) que mostraram a viabilidade de usar a casca e a borra de café como substrato sem qualquer suplementação nutritiva para o cultivo do fungo comestível da espécie *Flammulina velutipes* chegando ainda a admitir que a borra de café demonstrou ser um substrato melhor do que a casca de café. Curiosamente, os mesmos autores também realizaram estudos apenas com casca de café para a espécie de cogumelos *Pleurotus*, tendo chegado à mesma conclusão do estudo anterior, mas nestas experiências avaliaram também o grau de degradação de tóxicos do substrato e comprovaram que esta espécie não degrada a cafeína mas absorve parte desta no corpo de frutificação do cogumelo (Fan *et al.*, 2000).

Utilizações Alternativas e Inovadoras

As borras de café podem ainda ser utilizadas em vários processos de gestão mais inovadores e originais do que os mencionados anteriormente, sendo alguns deles pontuais.

“Este resíduo pode ser uma excelente matéria-prima para a produção de botões ecológicos”, afirmou o gerente de uma fábrica de botões que lançou no mercado uma linha de botões ecológicos que incorporam 70 % de pó de borra de café. Este produto representa uma inovação portuguesa no mercado mundial da botoaria (Louropel, 2014).

As borras de café já são também utilizadas na produção de peças de vestuário. Cada um dos produtos utiliza cerca de 5% deste resíduo e o resultado são roupas que conseguem absorver a maior parte dos odores transpirados pelas pessoas sendo os jogadores de futebol os mais beneficiados desta inovação (PRR, 2010).

Existe também uma grande variedade de produtos naturais e antioxidantes feitos a partir de extratos deste resíduo, que têm como componente ativa a cafeína. Mas no que diz respeito à indústria cosmética, as borras de café são utilizadas nas mais variadas formas: como amaciador para dar brilho aos cabelos evitando ainda o aparecimento de caspa; como esfoliante natural para a pele; como aliado no combate à celulite, através de uma mistura de borra de café com óleo de vitamina E, entre outros. Para além disso, e uma vez que as borras de café são ótimas para afastar os maus cheiros, há quem as utilize como aromatizante para os odores do frigorífico e/ou como perfume para o calçado (GoingGreen, 2009; Mikeasaurus, 2014; GreenSavers, 2012).

3. JUSTIFICAÇÃO DO TRABALHO

A utilização de borra de café na agricultura é uma prática muito mencionada na internet em fontes empíricas, mas não existe muita evidência científica da sua efetividade ou mesmo segurança. Sendo esta uma potencial fonte de nutrientes minerais, é importante dar um destino sustentável a este resíduo orgânico de forma a reduzir o seu impacto ambiental e de certa forma melhorar o ecossistema agrícola.

Alguns estudos já demonstraram que as borras de café frescas, sem sofrer qualquer tipo de tratamento, podem ser incorporadas diretamente no solo e contribuir para a nutrição das plantas no que diz respeito à agricultura doméstica ou de pequena escala. Por exemplo, Cruz *et al.* (2012) mostraram que as características nutricionais das plantas, no que diz respeito aos seus compostos bioactivos (clorofila e carotenóides), pode ser melhorada pela presença de pequenas quantidades de borra de café fresca no meio de cultura.

Cruz *et al.* (2014a) também testaram o efeito da borra de café fresca para a nutrição da alface. No entanto verificaram uma diminuição progressiva de todos os elementos minerais da alface com o aumento das borras de café frescas, com exceção de potássio, provavelmente devido à menor disponibilidade mineral e ao stresse da planta induzido pelos típicos resíduos bioactivos do café, como a cafeína.

Segundo Gonçalves (2005), as características das borras de café, em especial os teores de matéria orgânica e de nitrogénio total relativamente elevados, os teores de potássio e fósforo reduzidos e o pH na gama do ácido, conferem-lhes interesse agronómico.

Tendo em conta resultados promissores apresentados por outros autores, o principal objetivo deste trabalho foi o de testar o valor nutricional das borras de café como possível material fertilizante em horticultura de pequena escala, através quer da avaliação do potencial de mineralização de nutrientes, quer através do teste de borras de café em diferentes culturas hortícolas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS; RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os materiais e métodos, assim como os resultados obtidos e a discussão deste trabalho, são apresentados no artigo que se segue “ESPRESSO COFFEE RESIDUES AS A NITROGEN AMENDMENT FOR SMALL SCALE VEGETABLE PRODUCTION”, submetido a publicação em revista internacional.

COVER LETTER

Dear Editor

Please find enclosed an original manuscript, for submission to Journal of the Science of Food and Agriculture. The data presented comprises the results obtained in experiments which had the purpose of evaluating the potential use of espresso coffee grounds to N and P mineralization, as well as the plant nutrition potential for three vegetable crops.

I am looking forward for your news.

Sincerely yours

Claudia M.d.S. Cordovil

and

Soraia Cruz

Instituto Superior de Agronomia, 15th January 2015

1 ESPRESSO COFFEE RESIDUES AS A NITROGEN AMENDMENT FOR SMALL SCALE
2 VEGETABLE PRODUCTION

3 Coffee residues for vegetable production

4
5 Soraia Cruz & Cláudia M.d.S Cordovil*

6 Instituto Superior de Agronomia, U Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

7 Tel: +351 21 3653424, Fax: +351 21 3653195

8 *Corresponding author: cms@isa.ulisboa.pt

9
10
11 ABSTRACT

12 Espresso coffee grounds are a residue which is produced daily in considerable amounts, and has
13 been pointed out as potentially interesting for plant nutrition. Two experiments have been
14 carried out to evaluate the potential nitrogen and phosphorus supply from mineralization in soil
15 and for carrot (*Daucus carota* L.), spinach (*Spinacea oleracea* L.) and lettuce (*Lactuca sativa*
16 L.) nutrition. Immobilization of nitrogen and phosphorus was detected in all the incubations
17 performed to evaluate mineralization potential and yield growth was also decreased by the
18 presence of espresso coffee grounds, in general for all the species studied, revealing an
19 inhibition of N and P mineralization and of plant growth possibly due to the presence of
20 caffeine.

21
22 Keywords: espresso coffee grounds, incubations, nitrogen mineralization, phosphorus
23 mineralization, vegetables

24
25 INTRODUCTION

26 Coffee is one of the most significant commodities in the world trade but its residues have not
27 been looked so far at as potential by-products. These residues are rich in organic and inorganic
28 compounds which can also be environmental pollutants (Mussatto et al, 2011), but have an huge

1 reuse potential due to its richness in nutritive and bioactive compounds (Bravo et al, 2012). The
2 production and consumption of coffee worldwide are responsible for the production of
3 enormous amounts of residues which include pulp, bark, mucilage, residual water and in the
4 process of extracting the coffee drink is still generated an organic residue, the espresso coffee
5 grounds (Cruz et al, 2014b).

6 Nowadays, coffee residues in general are recycled by composting, vermicomposting, biogas
7 production, mushroom production, animal feed and more recently for extracting value added
8 fractions for biodiesel production (Mussatto et al, 2011). However, most of these processes are
9 not technologically efficient, may cause secondary pollution or are not economically viable. On
10 the other hand, coffee residues have been also point out as suitable liming material, as NPK
11 fertilizer and as promoters of water and nutrient retention in soils (Kasongo et al, 2011). While
12 Kitou and Yoshida (1997) have found that direct application of coffee residues is unsuitable for
13 fertilization, others point out treated and fresh spent coffee grounds to improve antioxidant
14 capacity of lettuce (Cruz et al, 2014a). Until just over a century ago, when the process for
15 mineral fertilizers production had not yet been discovered, many residues were used in domestic
16 agriculture thus creating a much higher demand than currently for such materials (Santos,
17 2001). Espresso coffee grounds are generated daily in restoration activities in significant
18 quantities, and may have a great potential for domestic agriculture use, both by direct addition
19 to soil or by mixing in domestic composting piles. The efficiency of this practice is still
20 scientifically unsupported, and safety for fertilization use purposes still lacks confirmation.

21 Although literature on the coffee residues use as soil amendment is limited, some experiments
22 have indicated that processing coffee residue has a potential to be a valuable organic fertilizer
23 (Kasongo, 2011).

24 The purpose of this study was evaluate the influence of the application of fresh espresso coffee
25 grounds (untreated) to the soil to evaluate its potential as an organic fertilizer for a small scale
26 vegetable production.

27

28

EXPERIMENTAL

Two experiments were set up to test the fresh espresso coffee grounds (untreated) from the preparation of espresso coffee in the canteen of the Agricultural School of the University of Lisbon, Portugal. In the first experiment two simultaneous incubation tests were performed. The second experiment consisted of a field experiment using 3 different vegetable crops: lettuce (*Lactuca sativa* L), spinach (*Spinacia oleracea* L) and carrot (*Daucus carota* L).

Soil and residue analysis

Before set up, espresso coffee grounds and soil were collected and analyzed after drying and sieving in a 2 mm sieve. After, soil and espresso coffee grounds were characterized for pH, organic matter content, total Kjeldahl nitrogen (N), mineral N, phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), calcium (Ca), sodium (Na), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) and manganese (Mn). Total Kjeldahl N was determined by Kjeldahl procedure after sample digestion. Mineral N (NH₄-N and NO₃-N) was determined by molecular absorption spectrophotometry using a segmented flow auto-analyser, after extraction with KCl 2M. P and K concentrations were determined by the Egner-Riehn method. The remaining elements were determined by atomic absorption spectrophotometry after calcination (table 1).

Treatments and experiments

One aerobic and one anaerobic incubation experiments were performed to evaluate the potential mineralization of nutrients from the espresso coffee grounds residue (CR) for potential plant nutrition. In each incubation, batches of 300 g soil were mixed with different amounts of the selected residue, enough to supply the corresponding following amounts of nitrogen: 0, 170, 240, 310 and 380 kg N/ha. Doses corresponded to 5 treatments respectively, T (control), A, B, C and D. Both aerobic and anaerobic incubations were divided in two parts. Half the containers were placed in a growing chamber at 25 ± 2°C, and the other half of the recipients were kept at room temperature (approx. 20°C).

Soil in the containers kept aerobically was maintained at 60% water holding capacity previously

1 determined for the soil used. In the anaerobic incubation water content was maintained at
2 saturation level at both temperatures. Mineralization monitoring was performed by sampling 7,
3 25, 60 and 110 days after setting time. These samples were taken for mineral N and P
4 determination according to the methodology referred below.

5 A second experiment was set up in small plots, in a randomized block design under field
6 conditions for determination of the potential fertilizer value of the residue for lettuce, spinach
7 and carrot, which are representative vegetable crops worldwide. The three crops were grown in
8 the presence and in the absence of espresso coffee grounds residue. The amount of residue
9 added to the soil was correspondent to an application of 170 kg N/ha according to the national
10 regulation law (DL n°. 235/97). Half the treatments corresponded to residue addition (with CR):
11 lettuce + residue, carrot + residue and spinach + residue. The other half of the treatments
12 corresponded to the crop without residue added to the soil (no CR): lettuce (L), carrot (C) and
13 spinach (S). Whenever the rain events were not enough to maintain water moisture, the plants
14 were watered with deionized water enough to maintain soil at 60% water holding capacity
15 previously determined. Crops were monitored every two days for soil moisture evaluation and
16 crop health observation. After 81 days crops were harvested and analyzed for dry weight and
17 Kjeldahl N determination and a soil sample was taken from the ryzosphere in each treatment for
18 Kjeldahl N, P, K and pH determination.

19 In both experiments treatments were performed in triplicate and the laboratory methods used for
20 the final plant and soil analysis were the same described above. During the experimental
21 process, temperature and precipitation data was collected from the meteorological station of the
22 University, located in the campus where the trials were performed (N 38° 42' 27.5", E -9° 10'
23 56.3").

24 25 Statistical analyses

26 Statistical analysis was performed using analysis of variance (ANOVA) at 95% probability and
27 the Tukey test was used for averages comparison, using the program R. Prior to Anova, data
28 was subjected to normality tests to ensure applicability of analysis of variance.

RESULTS

Incubation experiments - Phosphorus (P)

The amount of extractable phosphorus increased shortly after the start of the incubations, followed by alternate immobilization and availability of P. Alternation of these two P states was particularly visible in the aerobic incubations. In general, the contents of available P in the soil were higher in anaerobic incubations than in aerobic, for both temperatures tested (figure 1, table 2). Globally, time was very significant in terms of P content evolution for all incubations, while treatments were not apparently as significant ($p < 0.05$).

At the end of the incubation time (T4) the available P content in the soils incubated aerobically was lower than the initial P content at T0 ($p < 0.05$) in all treatments. Despite the variations in availability of P during the anaerobic incubations, it's the content in the soil at the end of the experiment (T4) was not different from the value of available P in the beginning (T0).

In anaerobic incubations, the increase of P availability was only observed 25 days after setting date while in the aerobic incubations the mineralization was quicker i.e. after 7 days (figure 1, table 2). For both water conditions, in the experiments carried out at 25 ± 2 °C, higher values of P concentration were found due to a higher mineralization under this temperature. Looking at all the treatments in general, P contents over time showed a proportionality for all the doses tested. A few exceptions were though observed. The highest amount of espresso coffee grounds applied to the soil (D) incubated at 25 ± 2 °C and at water saturation, did not produced a strong increase of P concentration 25 days after setting time, as the other treatments did. On the contrary, the application of 310 kg N / ha (C) led to a disproportionately higher content of available P in the soil at the beginning of both the anaerobic room temperature and the aerobic 25 ± 2 °C incubations (figure 1, table 2) that was significantly different ($p < 0.05$) for aerobic incubation at 25 ± 2 °C. In aerobic conditions there was a clear alternance of availability over time, while in anaerobic conditions the first mineralization was followed by immobilization until the end of the experiment (figure 1).

1 Incubation experiments - Mineral N (N_{\min})

2 As observed for phosphorus, mineral N content in soil showed proportionality between doses
3 used in the different treatments (figure 2, table 2). The exception was the specific case of T
4 treatment in aerobic incubation where after 7 days (T1) there was a much less marked
5 immobilization, compared to the remaining treatments, that was significantly different ($p < 0.05$)
6 from 25 days (T2). This tendency lasted until the end of the experiment (T4), as the mineral N
7 content in soil was always higher than in other treatments. Globally, time and treatments were
8 very significant in terms of N_{\min} content evolution ($p < 0.05$), except for anaerobic incubations at
9 25 ± 2 °C where treatments were not apparently as significant ($p < 0.05$).

10 Immediately after set up of the experiments, N_{\min} content in anaerobic incubations drastically
11 decreased as early as at day 7 (T1) for both temperatures.

12 From then, for incubation at room temperature, a mineralization peak occurs at day 25 for all
13 treatments and, after 60 days, treatments B, C and D show a new mineralization peak with N
14 values approximately constant until the end of the experiment. Control treatment (T) shows a
15 small immobilization which remained approximately constant until the end of the experiment
16 too (figure 2). Treatment A, corresponding to the lowest N addition maintained the same
17 mineral N concentration from the 25 day until the end of the experiment. On the contrary, for
18 incubation at 25 ± 2 °C, a new immobilization occurs until day 25 for all treatments followed by
19 a mineralization observed at day 60, remaining approximately constant until the end of the
20 experiment (figure 2).

21 On the contrary, after these 7 days the N_{\min} content in soils incubated aerobically, showed an
22 increased N mineralization followed by an expected immobilization only after 25 days, for both
23 temperatures (figure 2, table 2). From then a new mineralization stage occurs and was observed
24 at the 60 days sampling date. After this date, N_{\min} contents remained approximately constant
25 until the end of the experiment for both temperatures and soil water contents (figure 2, table 2).

26
27
28

Field experiment

Figure 3 shows that in general espresso coffee grounds promoted a significant reduction in dry matter yield production when compared to the production in plots where no residue was applied. This effect was visible in all crops tested which produced dry matter in much smaller quantities than in soil without espresso coffee grounds application (figure 3). Regarding TKN contents the decrease observed was also significant in spinach but not in carrot nor in lettuce where the presence of espresso coffee grounds increased or decreased TKN content in plants, but was not statistically significant at a 95% probability (figure 3). Plant N uptake reflects exactly the same effect reported for plant growth and N content also shown in figure 3. For all crops, the application of the residue to the soil led to plant growth reduction. Both factors analyzed are significant. The specie influenced the effect of the coffee grounds use, and the presence of the residue itself also influenced all of the crops tested ($p < 0.05$).

In the end of the experiment the amount of available P in the soil was higher in spinach plots with application of espresso coffee grounds when compared to the spinach plots without residue application. P content in the soil was not affected by espresso coffee grounds application in the case of lettuce and carrot (figure 4) ($p < 0.05$).

For K the opposite effect was observed (figure 4). Soil K content in spinach plots was not influenced by the application of the residue tested in the experiment, but there was an increase of K content after lettuce and carrot growth in the presence of the residue (figure 4) ($p < 0.05$).

Again as observed to P and K, differences in soil content were observed for total Kjeldahl N for the three crops tested TKN in the soil was in higher amounts than those observed without residue application.

Overall, soil at the end of the experiment was richer in NPK when espresso coffee grounds were added and this increase was always statistically significant ($p < 0.05$).

Data from pH results is not presented because no variations were detected in all crops and treatments tested ($p < 0.05$).

DISCUSSION

Incubations experiments

Phosphorus and nitrogen mineralization were observed earlier in aerobic incubations and available elements were almost proportional amongst doses applied in the different treatments. Like nitrogen, organic forms of phosphorus also mineralize in the soil, and the process is affected by the same factors as for N. The variations in P contents that occurred mainly in the aerobic incubations and the rapid increase of available P from the first sampling may be related to soil disturbance which may have promoted a quick initial mineralization as shown in figure 1. However, the anaerobic incubation conditions promoted a higher increase of available P in the soil for both temperatures tested, because flooding the soil reduces P-sorption by increasing the solubility of phosphates that are bound to aluminum and iron oxides and amorphous minerals. Early inhibition of the available P content in both types of incubations was probably due to the sudden increase of P which promotes immobilization by soil microorganisms. The higher dose of residue used in treatment D could have been responsible for the immediate immobilization observed between T1 and T2 (figure 1b). As between these two sampling times no P determination was made, the possible mineralization before immobilization was not detected. In both water conditions, incubations carried at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ allowed higher available P concentrations because during the trial room temperature was significantly lower than at 25°C and this higher temperature promoted mineralization.

The almost proportionality of results obtained for the doses tested, as occurred in P results, also showed that the dose may not be a significant factor to these incubations tests. In general, aerobic incubations promoted a higher increase of available N_{\min} in the soil for both temperatures tested, due to better environmental conditions for mineralization bacteria performance. However, the initial mineralization peak observed in figure 2 for both temperatures tested, was followed by a marked immobilization of N_{\min} in the incubated soil. Apart from the natural immobilization generally observed immediately after an N mineralization peak, the situation was maintained at low N mineral content until the end of the experimental period. This was probably due to the amounts of caffeine in the espresso coffee

1 grounds amended to the soil. Caffeine is the alkaloid 1, 3, 7 trimethylxanthine and alkaloides
2 may act as nitrogen storing molecules (Suzuki and Waller, 1988, Waller and Nowacki, 1978).
3 Caffeine has 4 N atoms which represent almost 29% of the molecule and a C/N ratio of 2. This
4 characteristic may promote N storage, like done by glutamine and asparagine which have a C/N
5 = 2 and by alantoine and allantoic acid with a C/N = 1 in some species like tropical vegetables
6 (Mazzafera et al, 1996). Assuming that Mazzafera et al (1996) hypothesis is valid, caffeine
7 acting as N storing molecule, could be degraded locally or translocated to different parts of the
8 plants releasing the N later on. On the contrary, Baumann and Wanner (1972) did not observe
9 translocation to the fruits of coffee plants grown in the presence of caffeine marked with ^{14}C e
10 ^{15}N . According to Waller et al (1986) this hypothesis was considered unlikely but Mazzafera et
11 al (1996) believe that caffeine can be degraded in the soil and also inhibit the microorganisms'
12 growth by accumulating even more on the soil. These authors consider caffeine as a store for
13 nitrogen molecule, as well as an allelopathic agent and anti-herbivore and considered its
14 possible involvement in disease resistance.

15 So, if espresso coffee grounds decomposition in the soil was a result of the caffeine action, the
16 decreased in the availability of this N in the soil is consistent with the finding of the former
17 authors cited, thus reducing N available forms. The results of field experiment also seem to
18 confirm this hypothesis. In figure 2 the absence of residues hence of caffeine, is visible in the
19 control behavior. Despite the immobilization of N, the levels of available N_{min} remained higher
20 than those of the amended plots soil.

21

22 Field experiment

23 General experiments using organic residues as soil amendments to crops produce higher crop
24 yields, as long as the organic material used does not contain inhibiting factors. Apart from the
25 macronutrients contained in the residues, several other elements acting as micronutrients or
26 beneficial nutrients can promote higher plant growth (Cordovil et al, 2006). However, in this
27 experiment espresso coffee ground amendment inhibited plant growth as well as N uptake for
28 all species tested (figure 3). It is well known that mineralization of organic residues, as in the

1 case of espresso coffee grounds, may be a slow process compared to the inorganic fertilizers.
2 Often N is gradually released at the specific mineralization rate of the organic residue used and
3 is released at a relatively lower rate compared to inorganic fertilizers (Rodrigues and Casali,
4 1998). A slower release could have been one of the reasons for a growth depression in the three
5 crops studied. Moreover, the residue tested contains caffeine, although it has not been quantified
6 in this experiment. Plants like coffee and tea have variable amounts of caffeine in their
7 composition. The caffeine content in tea plants varies over the year according to the N level in
8 the plant showing the N dependence for caffeine synthesis (Cloughley, 1982, Suzuki and
9 Waller, 1986). Caffeine synthesis in coffee crop has also been referred to be nitrogen dependent
10 by Beaudin-Dufour and Müller (1971). As referred before this alkaloid may have inhibitory
11 effects. The caffeine may inhibit or even auto inhibit germination (Baumann and Gabriel, 1984;
12 Friedman and Waller, 1983a; Suzuki and Waller, 1987).

13 Contrary to what was observed in this experiment, Cruz et al. (2012) reported a positive effect
14 of espresso coffee grounds by an increase in the amounts of chlorophylls in lettuce leaves and a
15 slight increase in plant biomass, after incorporation of reduced amounts of fresh espresso coffee
16 grounds in the cultivation media. A simultaneous decrease was observed in the amounts of N in
17 lettuce leaves, indicating that plants were probably under nutritive stress or that probably
18 caffeine induced some toxicity, activating a signaling stress in plant, probably associated with
19 the increased carotenoids content. This effect is particularly interesting from a nutritional point
20 of view (Cruz et al, 2012). Other authors obtained positive effects on lettuce and petunias
21 growth by the mixture of coffee grounds to the soil, but observed decrease or stagnant growth
22 when the same species were watered with a solution containing equivalent amounts of caffeine
23 (Green, 2014). Although plant heights reduction did not vary drastically, the leaves of both
24 plants turned yellow and brittle, and watering with a caffeine solution reduced the water holding
25 capacity of the soil thus reducing water availability for the two crops tested (Green, 2014).

26 On the other hand during the experiment in the field, average air temperature was always
27 approximately 5°C lower than the average historical values for the same period of the year (data
28 from the national meteorological institute). Besides a lower average temperature during the field

1 experiment, there was a marked alternance in air temperatures during the experiment,
2 particularly at the beginning of the crops cycle thus affecting germination itself. The minimum
3 temperature recorded was 5.7 °C and the maximum was 37.4 °C and vegetable crops are known
4 to be quite sensible to such temperature variations.

5 The reduced N uptake by the plants was certainly a reflection of the reduced plant growth as
6 shown in figure 3. This led to a significant increase in TKN content in soil after crops harvest
7 (figure 4). On the contrary P and K soil contents were not significantly different when the
8 residue was added to the soil, except in the case of carrot. After harvesting this crop, a higher
9 content of K was found in the soil ($p<0.05$). In a different study with lettuce, Cruz et al (2014b)
10 demonstrated a significant reduction of most of plant nutrients, likely due to the reduced mineral
11 availability and plant stress induced by typical coffee bioactive residues, as caffeine.

12 According to Kiehl (2010), espresso coffee grounds should not be used fresh as an organic
13 fertilizer but for composting instead. Other authors confirm the feasibility of composting and
14 vermicomposting of coffee grounds and of the use of the compost in lettuce crop (Ferreira,
15 2011).

16 CONCLUSIONS

17 Espresso coffee grounds had a negative effect on lettuce, carrot and spinach growth and in plant
18 nitrogen uptake, as indicated before in the incubation experiments due to the lower availability
19 of nitrogen and phosphorus. According to other authors, and despite some contradictory
20 published results, the most likely reason for such an inhibition is the presence of caffeine which
21 may reduce nitrogen availability to plants and even repress germination. This is of particular
22 importance as it indicates the uncertain value of coffee residue as an alternative for small-scale
23 farmers and gardeners who cannot afford to regularly purchase mineral fertilizers or want to
24 recycle. Nevertheless, more studies are needed in order to clarify this issue.

26 ACKNOWLEDGEMENTS

27 The authors thank Mrs. Paula Gonçalves for technical assistance.

28

REFERENCES

1. Baumann TW and Wanner H, Untersuchungen uber den transport von kaffein in der kaffeepflanze (*Coffea arabica*). *Planta*, **108**: 11-19 (1972).
2. Baumann TW and Gabriel H, Metabolism and excretion of caffeine during germination of *Coffea arabica* L. *Plant Cell Physiol*, **25**: 1431-1436 (1984).
3. Beaudin-Dufour D and Miuller LE, Effet de la radiation solaire et de l'âge sur le contenu en caféine et en azote des feuilles et des fruits de trois espèces de caféiers. *Turrialba*, **21**: 387-392 (1971).
4. Bravo J, Juárez I, Monente C, Caemmererb B, Krohb LW, Peña MPd and Cid C, Evaluation Of Spent Coffee Obtained From The Most Common Coffeemakers As A Source Of Hydrophilic Bioactive Compounds. *J Agric Food Chem*, **60**: 12565-12573 (2012).
5. Cloughley JB, Factors influencing the caffeine content of black tea: part 1 - the effect of field variables. *Food Chem*, **9**: 269-276 (1982).
6. Cordovil CMdS, Cabral F, Coutinho J and Goss MJ, Nitrogen uptake by ryegrass from organic wastes applied to a sandy loam soil. *Soil Use Manage*, **22**: 320-322 (2006).
7. Cruz R, Baptista P, Cunha S, Pereira JA and Casal S, Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. *Molecules*, **17**: 1535-1547 (2012).
8. Cruz R, Gomes T, Ferreira A, Mendes E, Baptista P, Cunha S, Pereira JA, Ramalhosa E and Casal S, Antioxidant activity and bioactive compounds of lettuce improved by espresso coffee residues. *J Agric Food Chem*, **145**: 95-101 (2014a).
9. Cruz R, Morais S, Mendes E, Pereira JA, Baptista P and Casal S, Improvement of vegetables elemental quality by espresso coffee residues. *J Agric Food Chem*, **148**: 294-299 (2014b).
10. Decreto-Lei n.º 235/97 de 3 de Setembro, Portuguese Ministry of Environment
11. Ferreira AB, *Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.)*. Dissertação de Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Bragança, (2011).
12. Friedman J and Waller GR, Caffeine hazards and their prevention in germinating seeds of coffee (*Coffea arabica* L.). *J Chem Ecol*, **9**: 1099-1106 (1983a).
13. Green S, *The use of coffee grounds as a fertilizer and the effects of caffeine on plant life*. Prezi

- 1 presentation (prezi.com) Kansas State University, US (2014).
- 2 14. Kasongo RK, Verdoodt A, Kanyankagote P, Baert G and Van Ranst E, Coffee waste as an
3 alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical
4 environments. *Soil Use Manag*, **27**: 94–102 (2011).
- 5 15. Kiehl EJ, *Novos Fertilizantes Orgânicos*. Ed Agronômica Ceres Ltda, Piracicaba, (2010).
- 6 16. Kitou M and Yoshida S, Effect of coffee residue on the growth of several crop species. *J Weed
7 Sci and Tech*, **42**: 25-30 (1997).
- 8 17. Machado EMS, Martins S, Mussatto SI and Teixeira JA, Production, Composition, and
9 Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioproc Tech*, **4**: 661-672 (2011).
- 10 18. Mazzafera P, Yamaoka-Yano DM and Vitória AP, *Does Caffeine Play Any Role In Plants?*
11 Departamento de Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas,
12 Brazil, **8(1)**: 67-74 (1996).
- 13 19. Rodrigues, ET and Casali VW, Resposta da alface à adubação orgânica. II. Teores, conteúdos e
14 utilização de macronutrientes em cultivares. *Rev Ceres*, UFV, Viçosa, **v.45, n.261**, pp.437-449
15 (1998).
- 16 20. Santos JQ, *Fertilização & Ambiente: Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes*. Public
17 Europa – América, Mem Martins, Portugal, pp.180-202 (2001).
- 18 21. Suzuki T and Waller GR, Total nitrogen and purine allaloids in the tea plant throughout the year.
19 *J Sci Food Agric*, **37**: 862-866 (1986).
- 20 22. Suzuki T and Waller GR, Allelopathy due to purine alkaloids in tea seeds during germination.
21 *Plant Soil*, **98**: 131-136 (1987).
- 22 23. Suzuki T and Waller GR, Metabolism and analysis of caffeine and other methylxanthines in
23 coffee, tea, cola, guarana and cacao In: Linskens HF and Jackson JFE, ed. *Analysis of
24 Nonalcoholic Beverages*. Berlin, Springer-Verlag, pp.184-220 (1988).
- 25 24. Waller GR, Kumari D, Friedman J, Friedman N and Chou CH, Caffeine autotoxicity in *Coffea
26 arabica* L. In: Putnam AR and Tang C-SE ed. *The Science of Allelopathy*. New York, John
27 Wiley, pp.243-269 (1986).
- 28 25. Waller GR and Nowacki EK, *Alkaloid Biology and Metabolism in Plants*. Plenum Press, New
29 York, pp.293-294 (1978).
- 30

LIST OF TABLES

Table 1. Characterization of espresso coffee grounds and original soil samples used in the experiments.

Parameter	Soil	CR
OM (g/kg)	27.7	985.3
TKN (g/kg)	1.3	22.3
N _{min} (mg/kg)	2.23	1.55
N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	1.34	0.91
N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	0.89	0.64
P (mg/kg)	295.8	106.7
K (mg/kg)	478.7	545.1
Ca (g/kg)	10.2	1.1
Mg (g/100g)	0.13	0.13
Na (g/kg)	1.0	2.6
Cu (mg/kg)	9.76	13.81
Fe (mg/kg)	995.7	64.72
Zn (mg/kg)	29.21	9.32
Mn (mg/kg)	83.90	14.75
pH	8.22	6.4

OM = organic matter; TKN = total Kjeldahl nitrogen; N_{min} = mineral nitrogen

Table 2. Mean concentration of N_{min} (mg/kgDM) and P (mg/kgDM) in soil in anaerobic and aerobic incubations at both temperatures tested (room temp and 25 ± 2 °C) at all sampling times during the experiment (T0, T1, T2, T3, and T4).

		Anaerobic incubations									
		Room temperature					25 ± 2°C				
		T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4
P (mg/kgDM)	T	595±32.4a	645±79.7a	815±53.4a	641±12.0a	582±94.4a	580±28.2a	551±19.8a	1308±541.5a	663±36.9a	593±48.3a
	A	583±18.3a	548±14.7a	813±39.8a	590±21.9a	487±35.0a	544±85.8a	563±98.5a	8678±130.2a	602±26.7a	609±67.2a
	B	693±30.8a	607±47.8a	781±37.8a	638±99.9a	568±38.0a	548±24.9a	526±57.1a	1196±217.8a	633±59.7a	610±108.9a
	C	520±36.5a	536±34.5a	954±366.6a	587±56.1a	568±47.5a	578±41.0a	508±17.0a	1032±906.1a	618±24.7a	611±90.1a
	D	623±55.0a	601±27.4a	792±48.7a	658±24.0a	580±52.0a	571±26.2a	591±12.6a	602±75.5a	676±36.8a	564±99.4a
N _{min} (mg/kgDM)	T	2.230a	0.5±0.2a	0.7±0.2a	0.6±0.1d	0.6±0.1c	2.230a	0.9±0.1b	0.6±0.1a	0.8±0.4a	0.9±0.4bc
	A	2.236a	0.7±0.2a	0.8±0.3a	0.8±0.2cd	0.9±0.3bc	2.236a	0.9±0.1b	0.6±0.0a	0.9±0.1a	1.0±0.1ab
	B	2.238a	0.5±0.1a	0.8±0.1a	1.5±0.1ab	1.7±0.1a	2.238a	1.3±0.3ab	0.5±0.0a	0.7±0.1a	0.7±0.2bc
	C	2.241a	0.4±0.0a	1.0±0.0a	1.7±0.2a	1.8±0.2a	2.241a	1.6±0.2a	0.4±0.0a	0.5±0.1a	0.4±0.1c
	D	2.243a	0.5±0.2a	0.7±0.4a	1.2±0.3bc	1.3±0.3ab	2.243a	1.3±0.1ab	0.4±0.0a	0.8±0.3a	0.8±0.2bc
		Aerobic incubations									
		Room temperature					25 ± 2°C				
		T0	T1	T2	T3	T4	T0	T1	T2	T3	T4
P (mg/kgDM)	T	528±16.0a	613±73.8a	504±26.2a	602±3.7a	459±19.7a	515±12.0a	645±32.2b	531±3.7a	645.4±7.0a	474±11.0a
	A	497±26.7a	570±17.6a	488±21.3a	619±32.4a	441±26.5a	552±45.5a	645±65.1b	568±23.1a	630.8±44.2a	484±22.8a
	B	533±25.4a	593±39.0a	504±16.2a	614±28.2a	469±15.3a	525±46.2a	624±16.2b	555±23.5a	639.8±37.5a	484±16.3a
	C	547±28.2a	621±52.4a	514±9.2a	620±33.0a	452±41.5a	566±28.5a	773±32.7a	561±30.4a	613.0±52.8a	449±31.1a
	D	534±27.1a	610±13.4a	504±35.9a	616±11.0a	479±9.6a	557±83.2a	635±19.9b	547±42.9a	628.4±51.6a	442±31.9a
N _{min} (mg/kgDM)	T	2.230a	3.2±0.7a	2.6±0.2a	2.8±0.2a	2.9±0.4a	2.230a	4.1±0.2a	3.0±0.3a	3.0±0.4a	3.0±0.4a
	A	2.236a	3.9±0.6a	1.1±0.4b	1.9±0.2b	2.0±0.1b	2.236a	3.9±0.1a	1.2±0.4b	1.6±0.2b	1.5±0.1b
	B	2.238a	3.7±0.4a	0.9±0.1b	1.8±0.1b	1.8±0.1b	2.238a	3.9±0.0a	0.6±0.1b	1.0±0.0c	1.0±0.0b
	C	2.241a	3.6±0.1a	0.9±0.1b	1.4±0.1b	1.3±0.0b	2.241a	3.6±0.3a	0.7±0.1b	0.9±0.1c	0.8±0.1b
	D	2.243a	3.6±0.1a	0.9±0.1b	1.4±0.1b	1.3±0.0b	2.243a	3.6±0.3a	0.7±0.1b	0.9±0.1c	0.8±0.1b

D	2.243a	4.1±0.6a	1.0±0.2b	1.9±0.2b	1.8±0.2b	2.243a	3.6±0.0a	0.7±0.0b	1.0±0.1c	0.9±0.1b
---	--------	----------	----------	----------	----------	--------	----------	----------	----------	----------

For each incubation temperature and water condition, the same letter within a column means no significant difference ($p < 0.05$)

LIST OF FIGURES

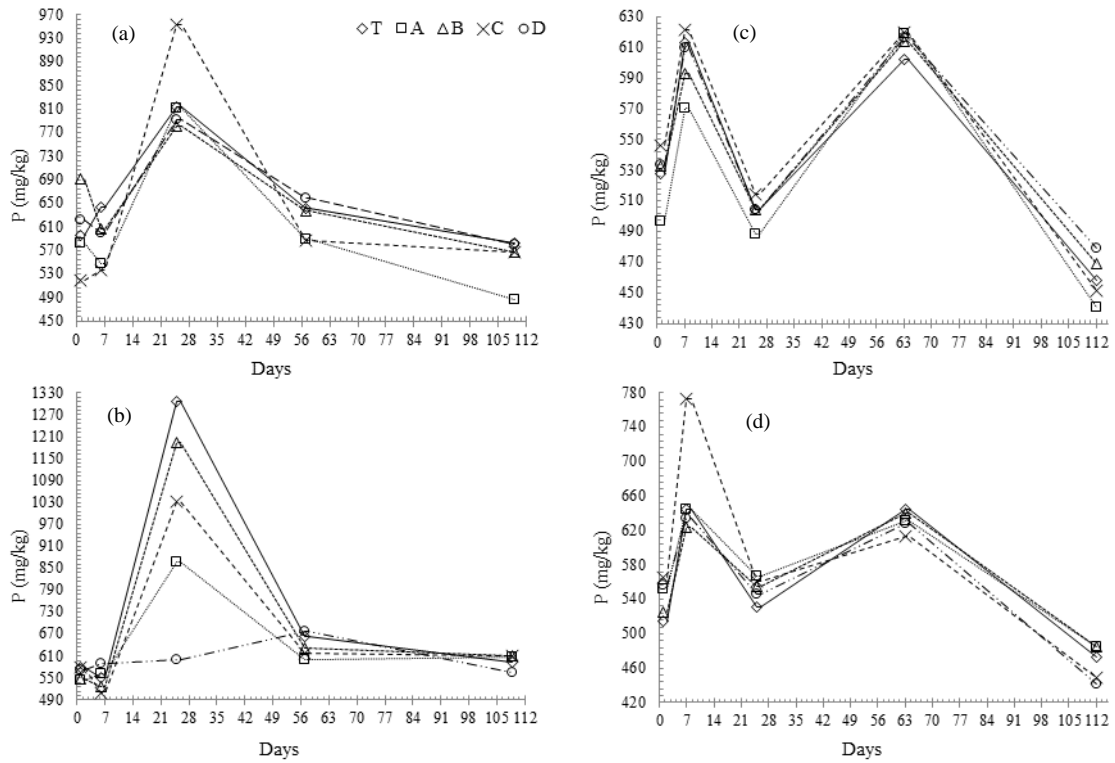


Figure 1. Phosphorus (P) concentration in the soil during both the anaerobic incubation at room temperature (a) and at 25 ± 2°C (b) and the aerobic incubation at room temperature (c) and at 25 ± 2°C (d), for all treatments used: \diamond T, \square A, Δ B, \times C and \circ D (0, 170, 240, 310 and 380 kg N/ha respectively).

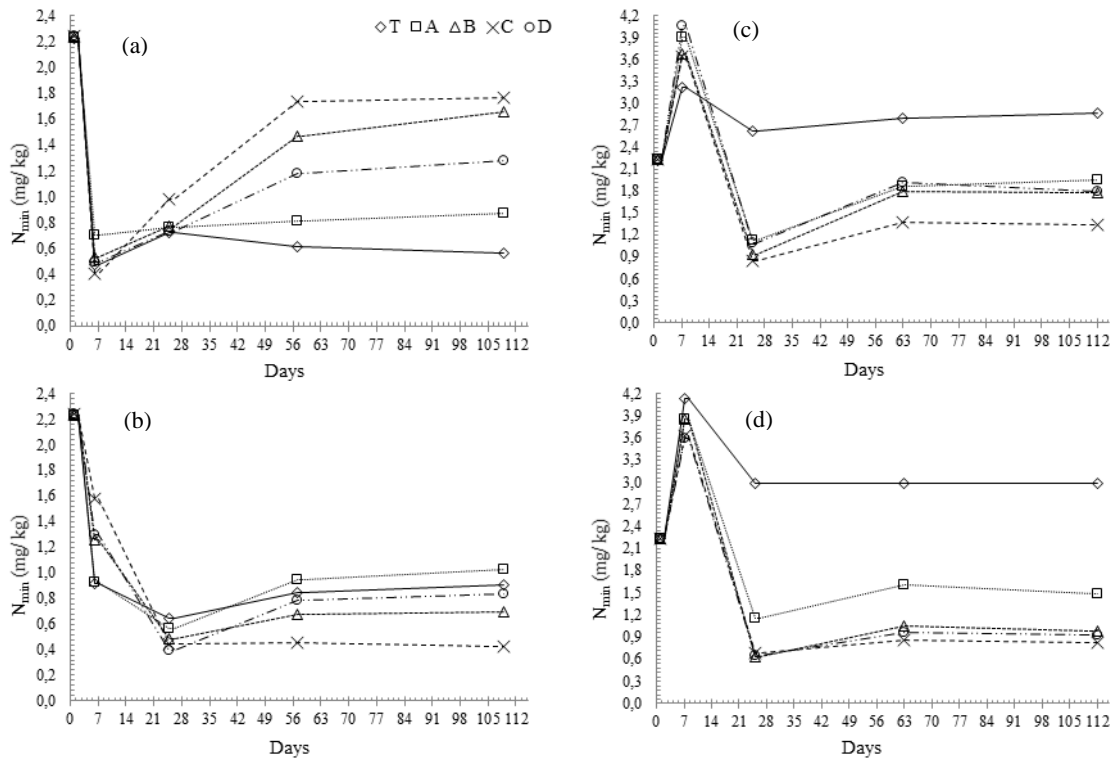


Figure 2. Mineral nitrogen (N_{min}) concentration in the soil during both the anaerobic incubation at room temperature (a) and at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (b) and the aerobic incubation at room temperature (c) and at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (d), for all treatments used: \diamond T, \square A, Δ B, \times C and \circ D (0, 170, 240, 310 and 380 kg N / ha respectively).

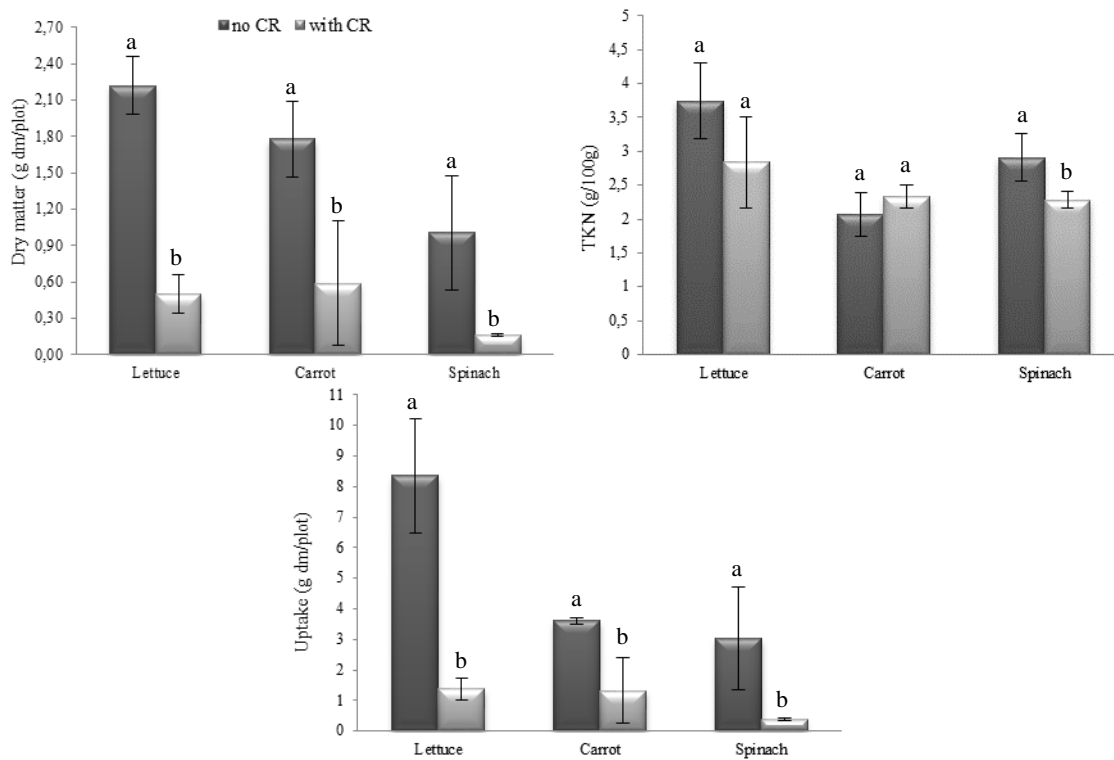


Figure 3. Dry matter yield, total Kjeldahl nitrogen (TKN) concentration and uptake of the three vegetables tested (Lettuce, Carrot and Spinach) grown with and without addition of expresso coffee grounds residue (CR) harvested at end of the experience. Values in columns of the same crop with the same letter are not significantly different at 95% probability.

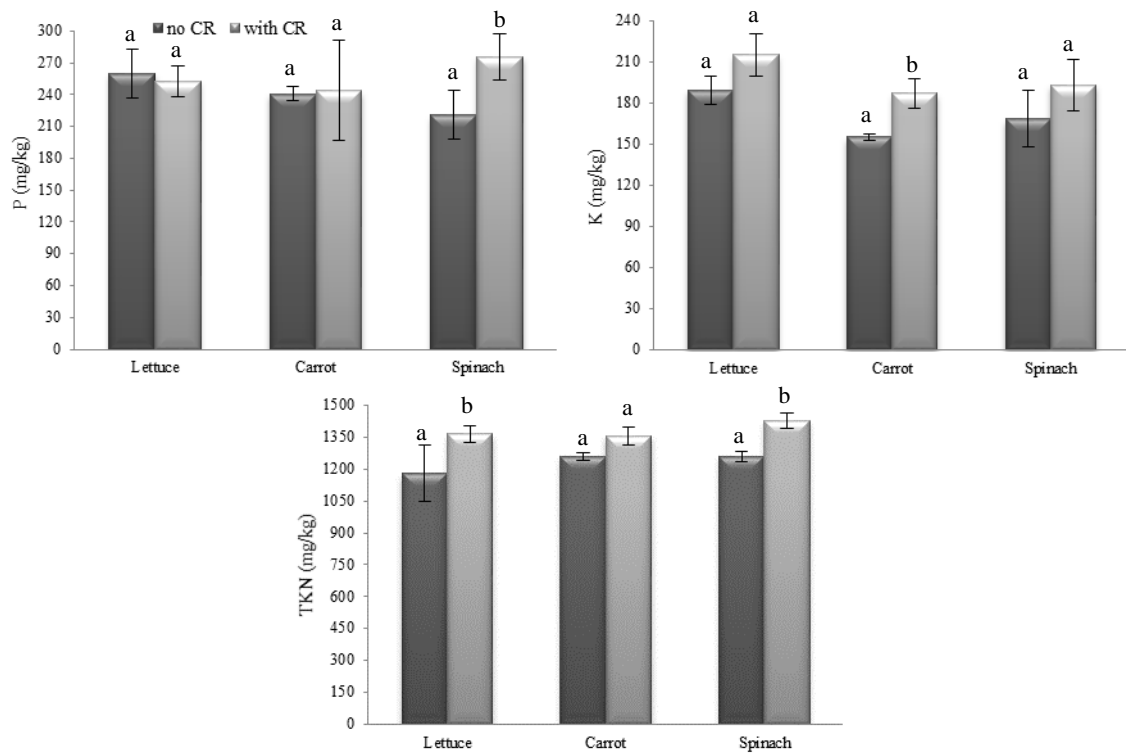


Figure 4. Phosphorus (P), Potassium (K) and total Kjeldahl nitrogen (TKN) concentration in the soil at end of the experiment with three vegetable crops tested (Lettuce, Carrot, and Spinach) grown with and without addition of espresso coffee grounds residue (CR). Values in columns of the same crop with the same letter are not significantly different at 95% probability.

5. CONCLUSÕES

As borras de café tiveram um efeito negativo no crescimento da alface, cenoura e espinafre e na exportação de nitrogénio das plantas, como mencionado nos ensaios de incubação, devido à baixa disponibilidade de nitrogénio e fósforo. De acordo com outros autores e, apesar de alguns resultados contraditórios publicados, a principal razão para tal inibição poderá ser a presença de cafeína a qual poderá ter reduzido a disponibilidade de nitrogénio para as plantas e mesmo reprimido a sua germinação.

Isto tem particular importância uma vez que indica o valor incerto das borras de café como alternativa para os agricultores de pequena escala e jardineiros que não têm recursos para comprar fertilizantes minerais regularmente ou que queiram reciclar as borras de café. Contudo, e embora o presente estudo tenha contribuído para um melhor conhecimento do potencial de utilização de borras de café na agricultura, são necessários mais estudos de forma a clarificar esta questão.

6. SUGESTÕES DE MELHORIA

Com o objetivo de conseguir uma utilização sustentável para as enormes quantidades de borras de café geradas diariamente a nível mundial, outras utilizações podem e devem ser encontradas para este resíduo, não só a utilização na agricultura, mas também noutros solos e como fonte de energia. A título de exemplo sugerimos como ideias para futuros trabalhos:

- Avaliar a influência dos compostos bioativos da borra de café, nomeadamente no que diz respeito à cafeína;
- Estudar o efeito das borras de café noutras culturas (hortícolas ou não) que, ao contrário da alfaca, sejam menos resistentes a alterações;
- Realizar o mesmo estudo sem incorporar as borras de café em adubação de fundo, mas apenas em cobertura;
- Avaliar o efeito da aplicação de borras de café após a germinação das espécies;
- Estudar o efeito das borras de café em solos não agrícolas, apenas como melhoradoras da qualidade do solo;
- Testar a utilização das borras de café em codigestão anaeróbia para produção de biogás;
- Testar a utilização das borras de café para a produção de vasos de enraizamento para viveiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADANS, M.R., & DOUGAN (1985) – Waste products In: CLARKE, R.J. & MACRAE, R., v.2, Ed. *Coffee: Technology*, Elsevier Applied Science, London, pp.282-291.
- ADI, A.J. & NOOR, Z.M. (2009) – Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Biores Techn*, 100: 1027–1030.
- AICC (2011) – Associação Industrial e Comercial do Café. Disponível em: <http://www.aicc.pt>. (acedido a outubro 2014).
- ALMEIDA, C., OLIVEIRA, J., PENA, T., PINTO, M., SANTOS, P., TEIXEIRA, F., XARÁ, S., SILVA, M. (2005) – *Guia da Reciclagem Orgânica. Resíduos Orgânicos, compostagem e digestão anaeróbica*. Gabinete de Estudos Ambientais, Universidade Católica Portuguesa, Lisboa, pp. 96.
- APA (2014) – Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em: www.apa.pt (consultado a setembro 2014).
- ARUDA, R.D.P. (2006) – *Estudo das Potencialidades das Borrás de Café para Valorização Agrícola*. Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Alimentar, UTL, ISA, Lisboa, pp. 92.
- BAUMAN, T.W. & GABRIEL, H. (1984) – Metabolism and excretion of caffeine during germination of *Coffea arabica* L. *Plant Cell Physiol*, 25: 1431-1436.
- BREZOVÁ, V., SLEBODOVÁ, A., STASKO, A. (2009) – Coffee as a source of a oxidant: an EPR study. *Food Chem*, 114: 859-868.
- CABRAL, M. S. & MORIS, V. A. S. (2010) – *Reaproveitamento da borra de café como medida de minimização da geração de resíduos*. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, Brasil.
- CAETANO, N.S., SILVA, V.F.M., MATA, T.M. (2012) – Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Cheml Engin Trans* 26: 135-192.
- Cafeicultura (2010) – Revista Cafeicultura. Disponível em: <http://www.revistacafeicultura.com.br>. (consultado a julho 2014).
- CAMPBELL, T.W., BARTLEY, E.E., BECHTLE, R.M, DAYTON, A.D. (1976) – Coffee Grounds. Effects of Coffee Grounds on Ration Digestibility and Diuresis in Cattle, on In Vitro Rumen Fermentation, and on Rat Growth. *J Dairy Science*, 59: 452–1460.
- CHOU, C.H. & WALLER, G.R. (1980) – Possible allelopathic constituents of *Coffea arabica* L. *J Chem Ecol*, 6: 643-639.

- CORDOVIL, C. M. d. S. (2004) – *Dinâmica do azoto na reciclagem de resíduos orgânicos aplicados ao solo*. Instituto do ambiente, pp.56
- CRUZ, F.J.G., PERAGÓN, F.C., PELÁEZ, P.J.C., CARNICEIRO, J.M.P. (2015) – A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. *Fuel Process Techn* 130: 188–196
- CRUZ, R., BAPTISTA, P., CUNHA, S., PEREIRA, J. A., Casal, S. (2012) – Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. *Molecules*, 17: 1535–1547.
- CRUZ, R., GOMES, T., FERREIRA, A., MENDES, E., BAPTISTA, P., CUNHA, S., PEREIRA, J. A., RAMALHOSA, E., CASAL, S. (2014b) – Antioxidant activity and bioactive compounds of lettuce improved by espresso coffee residues. *J. Agric. Food Chem*, 145: 95-101
- CRUZ, R., MORAIS, S., MENDES, E., PEREIRA, J. A., BAPTISTA, P., CASAL, S. (2014a) – Improvement of vegetables elemental quality by espresso coffee residues. *J Agri Food Chem*, 148: 294-299.
- CUNHA-QUEDA, A.C.F, DUARTE, E.A (2004) – *Gestão de Resíduos Biodegradáveis*. Comunicação apresentada ao encontro “Novas Problemáticas para a Gestão dos Resíduos”, Beja.
- DECRETO DE LEI nº178/2011 de 17 junho, Ministério de Ambiente e do Ordenamento do Território
- DECRETO LEI nº 73/2011 de 17 junho, Ministério de Ambiente e do Ordenamento do Território
- FAN, L. & SOCCOL, C.R. (2002) – Produção de cogumelo comestível do tipo *Pleurotus*, *Lentinus* e *Flammulina* em casca e borra de café. II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, v.3, Ed: *Embrapa Café*, Laboratório de Processos Biotecnológicos, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- FAN, L., SOCCOL, C.R, PANDEY, A. (2000) – Produção do cogumelo comestível *Pleurotus* em casca de café e avaliação do grau de detoxificação do substrato. I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, anais, v. 2, Ed: *Embrapa Café*. Laboratório de Processos Biotecnológicos, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil
- FAN, L., SOCCOL, C.R., PANDEY, A. (2000) – Produção do cogumelo comestível *Flammulina velutipes* em casca e borra de café. I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, v.2, Ed: *Embrapa Café*. Laboratório de Processos Biotecnológicos, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil
- FAROLECO (2013) – As borras de Café. Disponível em: <http://faroleco.blogspot.pt/2013/02/borras-de-cafe.html> (acedido a dezembro 2014).

- FERRÃO, J. E. M. (2009) – *O Café, a «bebida negra dos sonhos claros»*. Chaves Ferreira – Publicações, S.A. Lisboa.
- FERREIRA, A.B. (2011) – *Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (Lactuca sativa L.)*. Dissertação de mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar, Instituto Politecnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Bragança, pp. 102.
- FRIEDMAN, J. & WALLER, G.R. (1983a) – Caffeine hazards and their prevention in germinating seeds of coffee (*Coffea arabica* L.). *J Chem Ecol*, 9: 1099-1106.
- GIVENS, D. I. & BARBER, W. P. (1986) – In vivo evaluation of spent coffee grounds as a ruminant feed. *Agricultural Wastes*, 18: 69–72.
- GOINGGREEN (2009) – 21 ways to reuse coffee grounds. Disponível em: <http://bleedingspresso.com/2009/03/going-green-21-ways-to-reuse-coffee-grounds.html> (acedido a novembro 2014).
- GONÇALVES, M.S. (2005) – *Gestão de Resíduos Orgânicos*. Sociedade portuguesa de inovação, Porto, pp. 67.
- GREENSAVERS (2012) – Reutilizar as borras de café e as folhas de chá. Disponível em: <http://greensavers.sapo.pt/2012/12/05/20-dicas-para-reutilizar-as-borras-de-cafe-e-as-folhas-de-cha/> (acedido a novembro 2014).
- ICO (2014) – World Coffee Trade (1963 – 2013): a review of the markets, challenges and opportunities facing the sector. International Coffee Organization, 112th Session, London, United Kingdom, 111-5 Rev.1
- INE (2012) – Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: www.ine.pt (consultado a dezembro 2014).
- KASONGO, R.K., VERDOODT, A., KANYANKAGOTE, P., BAERT, G., VAN RANST, E. (2011) – Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments. *Soil Use Manag*, 27: 94–102.
- KITOU, M. & YOSHIDA, S. (1997) – Effect of coffee residue on the growth of several crop species *J. Weed Sci. Technol*, 42; 25-30.
- KONDAMUDI, N., MOHAPATRA, S.K., MISRA, M. (2008) – Spent coffee grounds as a versatile source of green energy, *J. Agric. Food Chem.*, 56: 11757–11760.
- KWON, E.E., Yi, H., JEON, Y.J. (2013) – Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds. *Bioresource Technology*, 136: 475–480.

- LAILACH, G.E.; THOMPSON, T.D., BRINDLEY, G.W. (1968) – Absorption of pyrimidines, purines, and nucleosides by Li-, Na-, Mg-, and Ca-Montmorillonite (clay-organic studies XII). *Clays and Clay Minerals*, 16:286-293.
- LOURENÇO, N. M. G. (2010) – *Borras de Café - Características e sua valorização orgânica por Vermicompostagem*. Futuramb – Gestão Sustentável de Recursos – DCEA/CPIV, Portugal
- LOUROPEL (2014) – Louropele, Fábrica de Botões. Disponível em: <http://observador.pt/2014/09/19/botoes-de-cafe/>. (consultado a outubro 2014).
- MARTINHO, M.G.M. & GONÇALVES, M.G.P. (2000) – *Gestão de Resíduos*. Universidade Aberta, Lisboa, pp. 103
- MATOS, A.T. (2003) – Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. In: Zambolim, L., Ed. *Produção integrada de café*. Viçosa: UFV/DFP, pp. 647-704.
- MAZZAFERA, P, YAMAOKA-YANO, D.M., VITORIA, A.P. (1996) – *Does Caffeine Play Any Role In Plants?* Departamento de Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Brazil, 8(1): 67-74.
- MAZZAFERA, P. (1996) Estudo sobre o papel da cafeína em plântulas de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Brasileira de Botânica*, 13: 97-102.
- MAZZAFERA, P. (1993) – 7-methylxanthine is not involved in caffeine catabolism in *Coffea dewevrei*. *J Agric Food Chem*, 41: 1541- 1543.
- MAZZAFERA, P.; CROZIER, A., MAGALHÃES, A.C. (1991) – Caffeine metabolism in *Coffea arabica* and other species of coffee. *Phytochemistry*, 30:3913-3916.
- MAZZAFERA, P.; CROZIER, A., SANDBERG, G. (1990) – Studies on the metabolic control of caffeine turnover in developing endosperms and leaves of *Coffea arabica* and *Coffea dewevrei*. *J. Agric.Food Chem.*, 42:1423, 1994.
- MCINTIRE-STRASBURG, J. (2011) – Fertilizing lawns with coffee. Disponível em: <http://sustainablog.blogspot.pt/2011/01/title-fertilizing-lawns-with-coffee.html> (acedido a setembro 2014).
- MIKEASOURUS (2014) – Passos de como aplicar as borras de café ao solo. Disponível em: <http://www.instructables.com/id/11-unusual-uses-for-coffee/> (acedido a dezembro 2014).
- MORENO, J.L. (2001) – *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ministério da Agricultura, Pesca Y Alimentation. Adiciones Mundi-Prensa, Madrid, pp.123.

- MUSSATOT, S.I., MACHADO, E. M. S., MARTINS, S., TEIXEIRA, J. A. (2011) – Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol*, 4: 661–672
- NAIR, J., SEKIOZOIC, V., ANDA, M. (2006) – Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*, 97: 2091–2095.
- NATHANSON, J. A. (1984) – Caffeine and related methylxanthines: possible naturally occurring pesticides. *Science*, 226:184-187.
- OCDE (2014) – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. Disponível em: www.oecd.org/ (consultado a dezembro 2014).
- PANDEY, A., SOCCOL, C.R., NIGAM, P., BRAND, D., MOHAN, R., ROUSSOS, S. (2000) – Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6: 153–162.
- PICHAT, P. (1995) – *A gestão dos resíduos*. Biblioteca básica da ciência e de cultura, Ed Plammanion, Paris, pp. 86.
- PRR (2013) – Portal dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/vestindo-borras-de-cafe/> (acedido a janeiro 2015).
- RIVAS, P.M.S., FILHO, A.A.P., SANTOS, F.A.S., ROSA, I.G. (2010) – *Avaliação de substratos pectocelulósicos para o cultivo de cogumelos comestíveis do gênero Pleurotus sp. (Agaricales)*. Cad. Pesq., São Luís, v.17, n.3, set/dez.
- ROBINSON, T. (1968) – *The biochemistry of alkaloids*. Berlin, Springer-Verlag, p.149.
- ROBINSON, T. (1974) – Metabolism and function of alkaloids in plants. *Science*, 184:430-435.
- Rocha M.V.P., MATOS, L.J.B.L., LIMA, L.P., FIGUEIREDO, P.M.S., LUCENA, I.L., FERNANDES, F.A.N., GONÇALVES, L.R.B. (2014) – Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. *Bioresource Technology* 167: 343–348
- RUI, J. (2008) – Borras de café na Horticultura. Disponível em: <http://www.sargacal.com/2008/05/21/borra-de-cafe-na-horticultura/> (acedido a janeiro 2015).
- SANTOS, J.Q. (2001) – *Fertilização & Ambiente: Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes*. Pubic Europa - America, Lisboa, pp.180-202.
- SHANEZENZIUK (2010) – Possíveis aplicações das borras de café. Disponível em: <http://groundtoground.org/2010/07/05/ground-to-ground/> (acedido a setembro 2014).
- SHETTEL, N.L. & BALKE, N.E. (1983) – Plant growth response to several allelopathic chemicals. *Weed Science*, 31:293-298.

- SindiCafé-MG (2010) – Disponível em: <http://sindicafé-mg.com.br/plus/modulos/conteudo/?tac=cafe-no-mundo> (acedido a agosto 2014).
- SMYTH, D.A. (1992) – Effect of methylxanthine treatment on rice seedling growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, 11:125-128.
- SUZUKI, T. & TAKAHASHI, E. (1975) – Metabolism of xanthine and hypoxanthine in the tea plant (*Thea sinensis* L.). *Biochemical Journal*, 146:79-85.
- SUZUKI, T. & WALLER, G.R. (1984a) – Biodegradation of caffeine: formation of theophylline and theobromine from caffeine in mature *Coffea arabica* fruits. *J Science Food Agric*, 35:66-70.
- SUZUKI, T. & WALLER, G.R. (1984b) – Biosynthesis and biodegradation of caffeine, theobromine, and theophylline in *Coffea arabica* L. fruits. *J Agric Food Chem*, 32: 845-848.
- SUZUKI, T. & WALLER, G.R. (1987) – Allelopathy due to purine alkaloids in tea seeds during germination. *Plant Soil*, 98: 131-136.
- SUZUKI, T. & WALLER, G.R. (1988) – Metabolism and analysis of caffeine and other methylxanthines in coffee, tea, cola, guarana and cacao In: Linskens HF and Jackson JFE, ed. *Analysis of Nonalcoholic Beverages*. Berlin, Springer-Verlag, pp.184-220.
- TOKIMOTO, T., KAWASAKI, N., NAKAMURA, T., AKUTAGAWA, J., TANADA, S. (2005) – Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. *J Colloid Interface Science*, 281: 56-61.
- VALLINI, G., PERA, A., VALDRIGHI, M., CECCHI, F. (1993) – Process constraints in source collected vegetable waste composting. *Water. Sci Techno* , 28 (2): 229-236.
- VARENNE, A. (2003) – *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa.
- VASHI, A., SHAH, N. (2003) – *Co-composting of municipal solid waste (MSW) with sewage sludge an integrated approach*. Bombay National Conference on Advances in Environment Sience and Engineering, 8-9 December, Bombay, India.
- VIOTTO, L. A. (1991). *Projeto e Avaliação econômica de sistemas de Secagem de Borra de Café* - Tese de Mestrado. Campinas: UNICAMP.
- WALLER, G.R. & NOWACKI, E.K. (1978) – *Alkaloid Biology and Metabolism in Plants*. Plenum Press, New York, pp.293-294.
- WALLER, G.R., KUMARI, D., FRIEDMAN, J., FRIEDMAN, N., CHOU, C.H. (1986) – Caffeine autotoxicity in *Coffea arabica* L. In: Putnam AR and Tang C-SE, Ed. *The Science of Allelopathy*. New York, John Wiley, pp.243-269.

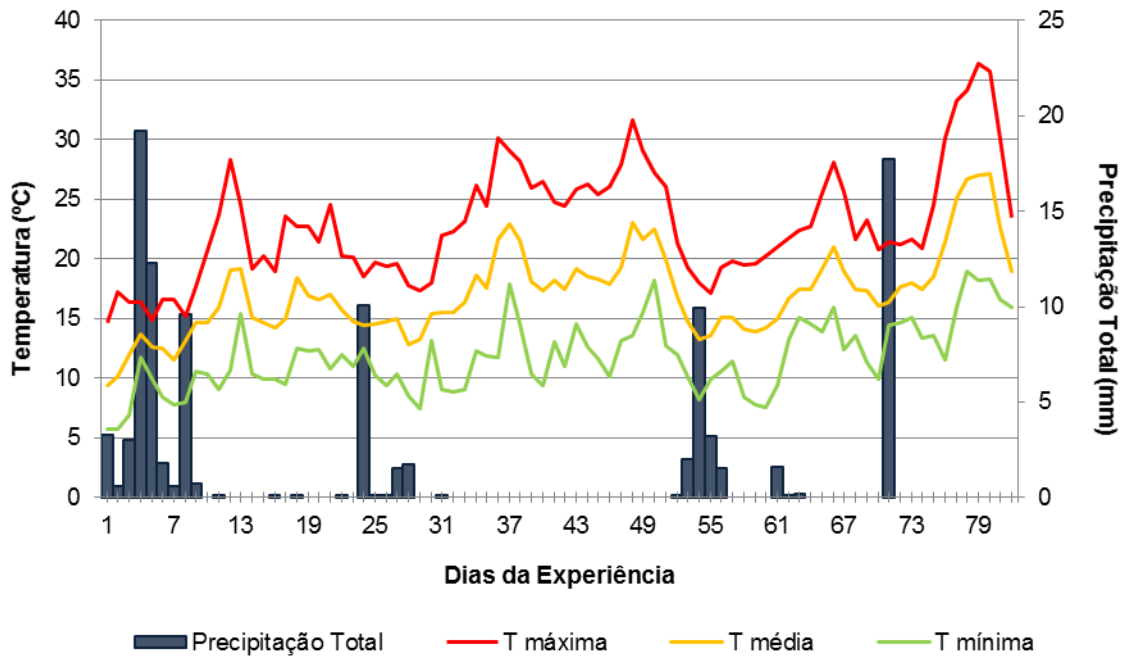
WIKIHOW (2014) – Como usar as borras de café. Disponível em: <http://pt.wikihow.com/Usar-Borra-de-Caf%C3%A9-em-seu-Jardim> (acedido a janeiro 2015).

XIMENES, M. A. (2010) – *A Tecnologia Pós-Colheita e Qualidade Física e Organoléptica do Café Arábica de Timor*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Alimentar, ISA, Lisboa, pp.89

ANEXOS

Anexo I

Variação da temperatura do ar (máxima, média e mínima) e da precipitação total ao longo da duração da experiência realizada em condições de campo. Dados obtidos na Estação meteorológica da Tapada da Ajuda.



Anexo II

Valores médios de concentração de macronutrientes (NPK) presentes no solo final e de matéria seca (M.S.), Nitrogénio Kjeldhal (N_{Kj}) e Exportação de Nitrogénio das plantas colhidas dos vasos fertilizados com resíduo de café (Com RC) e não fertilizados (Sem RC). Dados através dos quais resultaram os gráficos apresentados nos Resultados relativos à experiência realizada em condições de campo.

Cultura hortícola	Solo final (mg/kg)						Plantas colhidas					
	N		P		K		M.S. (g/vaso)		N _{Kj} (g/100g)		Exportação N (g/vaso)	
	Sem RC	Com CR	Sem RC	Com CR	Sem RC	Com CR	Sem RC	Com RC	Sem RC	Com RC	Sem RC	Com RC
Alface	1180,0	1366,7	260,3	252,6	189,2	215,0	2,2	0,5	3,7	2,8	8,4	1,4
Cenoura	1260,0	1356,7	241,1	244,1	155,2	186,8	1,8	0,6	2,1	2,3	3,6	1,3
Espinafre	1260,0	1430,0	220,7	275,7	168,5	192,8	1,0	0,2	2,9	2,3	3,0	0,4

Anexo III

E-mail de confirmação da submissão do artigo a revista internacional.

Manuscript submitted to Journal of the Science of Food and Agriculture - JSFA-15-0126, Author's Copy



JSFA@wiley.com (JSFA@wiley.com) Adicionar aos contatos 15/01/2015 |►
Para: soraiafelix12@hotmail.com, cms@isa.ulisboa.pt ✉

De: **onbehalfof+JSFA+wiley.com@manuscriptcentral.com** em nome de **JSFA@wiley.com**
Enviada: quinta-feira, 15 de janeiro de 2015 14:50:24
Para: soraiafelix12@hotmail.com; cms@isa.ulisboa.pt

15-Jan-2015

Manuscript number: JSFA-15-0126, "ESPRESSO COFFEE RESIDUES AS A NITROGEN AMENDMENT FOR SMALL SCALE VEGETABLE PRODUCTION" by Cruz, Soraia; Cordovil, Claudia

Dear Professor Cordovil,

Thank you for submitting the above manuscript to Journal of the Science of Food and Agriculture. The paper is under consideration and you will be informed of the status when the refereeing process has been completed.

To track the progress of your manuscript through the editorial process using our new web-based system, simply point your browser to:

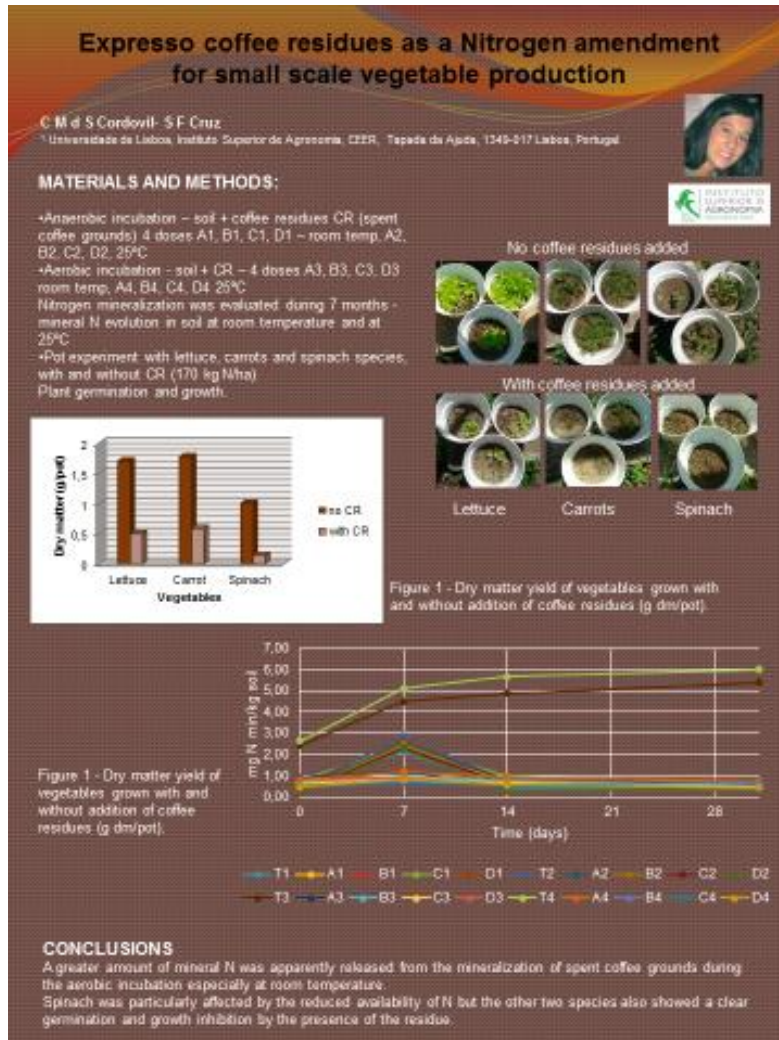
<https://mc.manuscriptcentral.com/jsfa-wiley>

Thanks and best wishes,

JSFA Editorial Office
JSFA@wiley.com

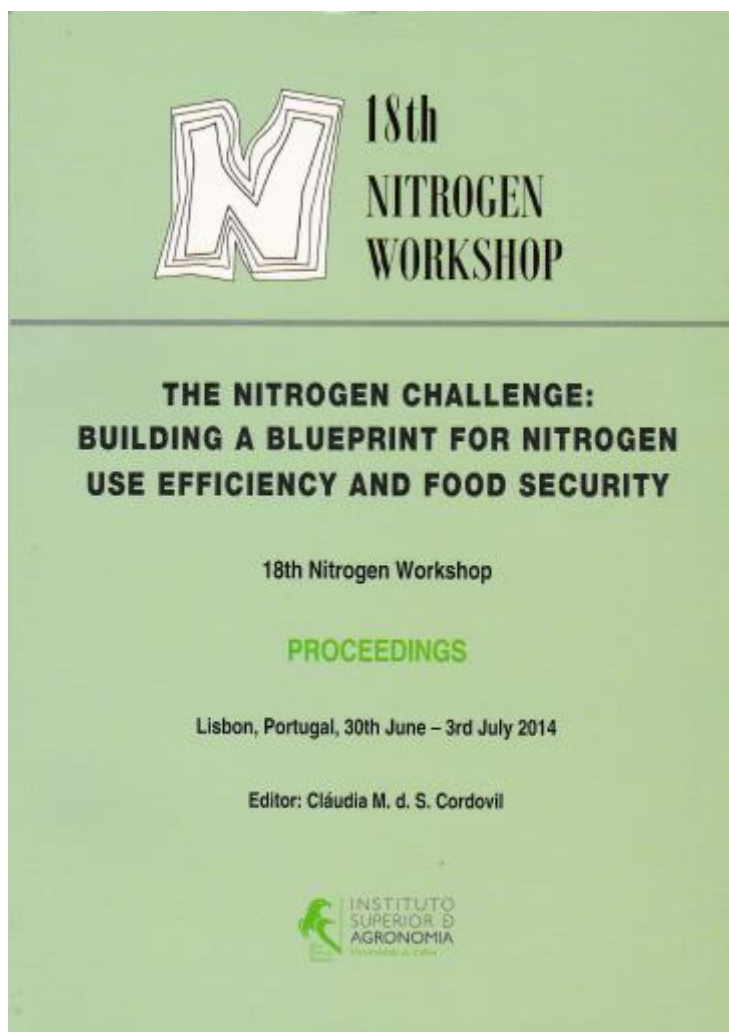
Anexo IV

Poster do estudo e dos resultados iniciais deste trabalho apresentado no 18th Nitrogen Workshop. Evento que decorreu em Lisboa a Junho/Julho 2014.



Anexo V

Capa do livro de Actas do 18th Nitrogen Workshop onde consta este trabalho.



Anexo VI

Artigo que consta no Livro de Actas do 18th Nitrogen Workshop e do qual resultou o Poster do Anexo IV.

EXPRESSO COFFEE RESIDUES AS A NITROGEN AMENDMENT FOR SMALL SCALE VEGETABLE PRODUCTION

C M d S CORDOVID, S F CRUZ

Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, CEER, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

Email. cms@isa.ulisboa.pt

Coffee is one of the most significant commodities in the world trade but its residues have not been looked at as potential by-products. These residues are rich in organic and inorganic compounds which can also be environment pollutants (Mussatto et al, 2011), but have an huge reuse potential due to its richness in nutritive and bioactive compounds (Bravo et al, 2012). The production and consumption of coffee worldwide are responsible for the production of enormous amounts of residues generated at the different levels of the management chain. Residues generated at the producing countries consist of coffee pulp, cherry husks and parchment skin (Cruz et al, 2014b). Other different types of residues are generated by the roasting industries such as coffee silverskin, and finally the spent coffee resulting from the soluble coffee industry and brewing.

Coffee residues in general are recycled by composting, biogas production, mushroom production, animal feed and more recently for extracting value added fractions for biodiesel and ethanol production (Mussatto et al, 2011). Moreover, coffee residues have been point out as a suitable liming material, as NPK fertilizer and as promoters of water and nutrient retention in soils (Kasongo et al, 2011). While Kitou and Yoshida (1997) have found that direct application of coffee residues is unsuitable for fertilization, others point out treated and fresh spent coffee grounds to improve antioxidant capacity of lettuce (Cruz et al, 2014a).

Spent coffee grounds generated daily after coffee beverage preparation in restauration activities, represent significant amounts and has a potential for domestic agriculture use, both by direct addition to soil or by mixing in composting piles, still with unsupported efficiency and safety for fertilization use purposes.

Materials and methods

Three simultaneous experiments have been setup to test untreated spent coffee grounds (2.25 g N/100 g) from the preparation of espresso coffee in the University cafeteria. An aerobic, and an anaerobic incubations and a pot experiment with lettuce, carrots and spinach species. Nitrogen mineralization was evaluated during 7 months by the determination of mineral N evolution in soil at room temperature and at 25°C, and plant germination and growth were determined in the 3 species referred grown in pots under field conditions.

Results and discussion

Anaerobic conditions of the experiment reduced the mineralization potential of the residue overtime. Thus, a greater amount of mineral N was apparently released from the mineralization of spent coffee grounds during the aerobic incubation especially at room temperature. Soil organic matter itself seemed to have released more mineral N, indicating an immobilization potential of the residue in all situations.

Vegetable germination and growth observed were consistent with this N availability inhibition. Spinach was particularly affected by the reduced availability of N but the other two species also showed a clear germination and growth inhibition by the presence of the residue. The presence of other compounds which may be the cause of such inhibition remained uncertain, and further study is needed.

Bravo J et al, 2012. *J. Agric. Food Chem.* 60, 12565-12573.

Cruz R et al. 2014a. *Food Chem.* 145, 95-101.

Cruz R et al. 2014b. *Food Chem.* 148, 294-299.

Kasongo R K et al. 2011. *Soil Use Manage.* 27, 94-102.

Kitou M, Yoshida S 1997. *J. Weed Sci. Technol.* 42, 25-30.

Mussatto S I et al. 2011. *Food Bioprocess Technol.* 4, 661-672.