

Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo

Legumes as covers crops to improve soil quality

Rugana Imbana¹; Susana Churka Blum²; Maria Ivanilda Aguiar³; Geocleber Gomes de Sousa⁴; Medna Ndami⁵; Ibraim Dabó⁶

¹Mestre e Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil; E-mail: ruganaimbana94@gmail.com; ²Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, Ceará, Brasil; E-mail: scblum@unilab.edu.br; ³Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção; E-mail: ivanilda@unilab.edu.br; ⁴Doutor em Engenharia Agrícola, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção; E-mail: sousagg@unilab.edu.br; ⁵Engenheiro Agrônomo, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção; E-mail: mednaveira@gmail.com; ⁶Engenheiro Agrônomo, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção; E-mail: ibrahim.dabo2@gmail.com.

ARTIGO

Recebido: 08/04/2021
 Aprovado: 04/09/2021

Palavras-chave:

Fitomassa
 Estoque de carbono
Mucuna pruriens
Crotalaria juncea

RESUMO

As leguminosas podem ser eficientes para aumentar os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo. Com base nisso, objetivou-se com o presente estudo selecionar plantas leguminosas com o maior potencial para acumular C e N no solo. O experimento foi conduzido em 2018, em Redenção, Ceará. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos correspondem a: controle (solo sem cobertura vegetal), palha, mucuna preta, mucuna cinza, lablab, feijão-guandu, crotalaria e feijão-de-porco. No florescimento (aos 67 dias após a semeadura), as leguminosas foram cortadas e deixadas sobre a área. Aos 78 dias após o corte, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm para determinação da densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp), porosidade total (Pt), carbono orgânico total (COT), estoques de carbono (EstC) e nitrogênio (EstN), nitrogênio total (NT) e a relação de carbono com nitrogênio (C:N). As plantas de cobertura não alteraram Ds, Dp, Pt, NT e a relação C:N, em razão da textura arenosa do solo e curto período experimental. Porém, contribuíram para o aumento dos teores de COT. As plantas leguminosas são capazes de aumentar o estoque de carbono do solo mesmo em curto prazo. A mucuna cinza é a planta leguminosa com maior potencial para acumular C no solo. No entanto, para manutenção de resíduo orgânico no solo é recomendado o uso de *Crotalaria juncea*.

ABSTRACT

Legumes can be efficient to increase carbon (C) and nitrogen (N) contents in the soil. Based on this, the objective of this study was to select the legumes plants with the greatest potential to accumulate C and N in the soil. The experiment was conducted in 2018, in Redenção, Ceará. The experimental design was a randomized block with eight treatments and three repetitions. The treatments correspond to: control (soil without vegetation cover), straw, *Mucuna pruriens*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* and *Canavalia ensiformis*. At flowering (67 days after sowing), the legumes were cut and left on the area. At 78 days after cutting, soil samples were collected at depths of 0-5 and 5-10 cm. We determined bulk density, particle density, porosity, total organic carbon (TOC), carbon stock (C stock), total nitrogen (TN), nitrogen stock (N stock) and C:N ratio. The cover crops did not change bulk density, particle density, porosity, TN, N stock and the C:N ratio, due to the sandy soil texture and short experimental period. However, they contributed to the increase in TOC contents. Legume plants are able to increase soil carbon stock even in the short time. The mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) is the leguminous plant with the greatest potential to accumulate C in the soil. However, to maintain organic residue in the soil, the use of *Crotalaria juncea* is recommended.

Key words:

Phytomass
 Carbon stock
Mucuna pruriens
Crotalaria juncea

INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é entendida como a medida da sua capacidade em realizar papéis ecológicos vitais, como o de suportar o crescimento das plantas, suprir e purificar a água,

reciclar nutrientes e dejetos orgânicos, entre outras funções ecológicas (BÜNEMANN et al., 2018). Assim, a perda da referida aptidão funcional pode ser considerada degradação do solo (LAL, 2012; BHATTACHARYYA et al., 2015).

Diversos processos como desmatamento e remoção de resíduos orgânicos podem levar à deterioração do solo (KARLEN; RICE, 2015; KARLEN et al., 2019). Essas práticas antropogênicas criam condições que favorecem a ocorrência da erosão, esgotamento da matéria orgânica (MO) e de nutrientes do solo (LAL, 2012; LI et al., 2017), sendo estes três processos pedológicos os principais causadores da degradação de solos do planeta (KARLEN; RICE, 2015).

A compactação do solo é outro fator que também compromete as práticas agrícolas, pois aumenta a resistência à penetração das raízes, reduz a porosidade e modifica a condutividade hidráulica do solo (OBOUR; UGARTE, 2021). Além disso, desestabiliza os agregados e expõem a MO até então protegida fisicamente pela agregação do solo, possibilitando a sua perda (WANG et al., 2016).

No entanto, as tendências atuais de degradação de ecossistemas podem ser amenizadas mediante a adoção de técnicas de manejo sustentável do solo, sem deixar de atender às indigências da população global em expansão (KARLEN; RICE, 2015). E, com isso, pode ser mitigada a piora do cenário do aumento da temperatura média global projetada para próximas duas décadas, em que um adicional de 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais poderá ser atingido e causar impactos nos sistemas naturais e humanos (TOLLEFSON, 2015).

Minasny et al. (2017), estudaram a viabilidade da iniciativa “4 per mille”, fazendo as estimativas de estoque de carbono (C) orgânico no solo e potenciais de sequestro em diferentes regiões dos cinco continentes habitados (África, América, Ásia, Europa e Oceania) e descobriram que com melhores práticas de manejo, taxa de sequestro de até 10 por mil podem ser alcançadas em solos com baixo estoque inicial de C, nos primeiros 20 anos da implementação. No entanto, o desafio é encontrar métodos que melhorem as condições do solo e captem o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico. E, que o progresso da “4 per mille” para mitigação climática e conservação da biodiversidade requer a colaboração de todos.

Diante deste cenário, estudos têm sido realizados para testar diversas técnicas de manejo que visam a manutenção da sustentabilidade do solo (BERENDSE et al., 2015; DENG et al., 2017; DENG; SHANGGUAN, 2017; HU et al., 2021). E, todos esses estudos indicaram que o aumento dos estoques de C orgânico no solo, além de mitigar as mudanças climáticas, podem ser eficazes para proteger o solo contra os agentes intempéries e melhorar a sua qualidade, pois a MO atua em diversos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Então, é evidente o forte elo entre a qualidade do solo e a MO (BAYER et al., 2004).

Segundo Karlen e Rice (2015), as estratégias de manejo mais promissoras para mitigar a degradação do solo são aquelas que possibilitam o aumento da MO no solo, aperfeiçoando a atividade da microbiota do solo e reduzindo todas as formas de erosão. Deste modo, as plantas de cobertura como as leguminosas podem ser uma opção eficaz para melhorar a qualidade do solo e manter a sustentabilidade de ecossistemas.

De uma forma geral, as leguminosas são espécies rústicas, capazes de produzir muita biomassa, sendo uma alternativa eficiente para proteger o solo contra erosão. Além disso, essas plantas em crescimento têm efeito indireto na modificação dos atributos físicos do solo e no aumento de teores de MO e nutrientes, o que pode melhorar a produtividade do ecossistema (HE et al., 2015; MARQUES et

al., 2015; PÁDUA et al., 2015; LIMA et al., 2018; FREITAS et al., 2020).

Ainda, as espécies leguminosas (Fabaceae) podem ser utilizadas como adubos verdes (SANTOS; MEURER, 2018), visto que apresentam elevado potencial para fixar o nitrogênio (N) atmosférico em simbiose com as bactérias diazotróficas dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e promover a formação de N total (FORTUNA et al., 2003; SOUSA et al., 2017; ZHIYUAN et al., 2019), podendo ser promissoras também para o sequestro de C em solos agrícolas (POEPLAU; DON, 2015).

Zhiyuan et al. (2019) empregaram plantas leguminosas como adubos verdes na janela de plantio e observaram um aumento de C e N no solo. E concluíram que cultivar essas plantas constitui uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo e aumentar a produção agrícola sustentável. Portanto, nas situações em que as condições edafoclimáticas favorecem a decomposição da MO do solo e a perda de nutrientes, o uso de plantas leguminosas pode servir de ferramenta importante para promover estoques de C e N no solo.

A atenção considerável da comunidade científica e das lideranças mundiais sobre a busca de estratégias de manejo que contribuem para a melhoria da qualidade do solo e dos sistemas ecológicos como um todo, especialmente, em regiões semiáridas, onde as chuvas escassas e alta evaporação afetam a sustentabilidade dos ecossistemas locais, motivaram a realização deste trabalho com plantas leguminosas. E, a hipótese testada neste experimento é que o uso de espécies de leguminosas como adubos verdes e plantas de cobertura pode aumentar as quantidades de C e N no solo, por meio da fixação biológica do N e produção de biomassa. Com base no exposto, objetivou-se com o presente estudo selecionar plantas leguminosas com o maior potencial para acumular C e N no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

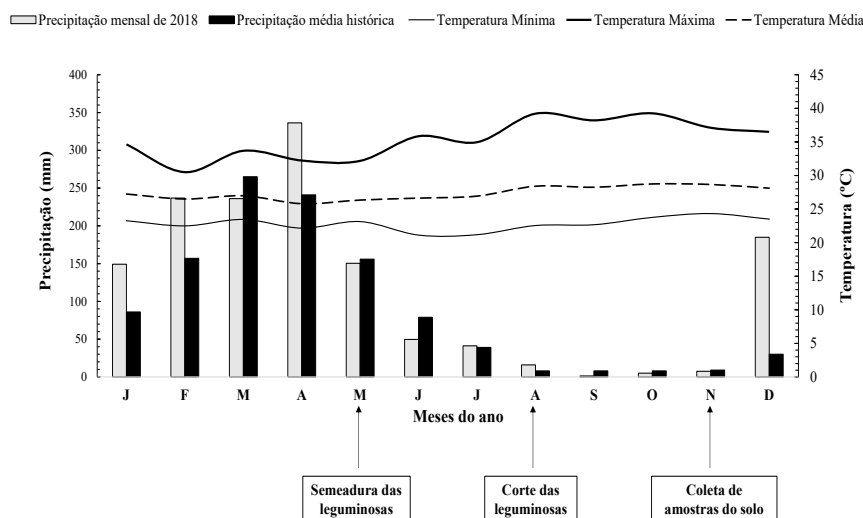
O presente estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Piroás (FEP), pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), situada na localidade Piroás, no distrito de Barra Nova, no município de Redenção, Ceará, de maio a novembro de 2018. A fazenda localiza-se na latitude de 04° 9' 19,39" S, longitude de 38° 47' 41,48" O e altitude de 340 m. Possui efetivamente 28,2 hectares. Conta com uma área de preservação permanente (APP) e de reserva legal (RL).

O clima da região é classificado como tropical com verão seco (As), possui 1062 mm de precipitação média anual (com chuvas predominantes nos meses de janeiro a abril) e temperatura média anual variando de 26 a 28 °C (ALVARES et al., 2013). A precipitação mensal do ano de 2018 e a média histórica (mm), temperaturas mínima, máxima e média (°C) na FEP, estão apresentadas na Figura 1. Para suprir a demanda hídrica das espécies leguminosas nos períodos de déficit foi utilizada a irrigação por aspersão, de acordo com a necessidade das culturas.

Foram realizadas análises físico-químicas de amostra do solo na profundidade de 0-20 cm do local do estudo (TEIXEIRA et al., 2017). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo, com textura franco-arenosa, exibindo o teor de argila de 122 g kg⁻¹. Apresenta pH em água (solo:água = 1:2,5) de 6,5 e acidez potencial de 2,31 cmol_c dm⁻³, os quantitativos trocáveis de cálcio (Ca²⁺ = 3,00 cmol_c dm⁻³),

magnésio ($Mg^{2+} = 2,60 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), potássio ($K^+ = 0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e sódio ($Na^+ = 0,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Exibe conteúdos de fósforo (P) disponível de 21 mg kg^{-1} , índice de saturação por cátions básicos (V%) de 72% e MO do solo de $8,23 \text{ g kg}^{-1}$.

Figura 1. Precipitação mensal em 2018 e a média histórica (mm), temperaturas mínima, máxima e média (°C) na Fazenda Experimental Piroás, Redenção, Ceará.



Fonte: FEP, 2018.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos correspondem a: (1) solo sem cobertura vegetal (controle), (2) solo coberto com palha proveniente de plantas espontâneas da área, e plantas leguminosas de cobertura (3) mucuna preta (*Mucuna pruriens*), (4) mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), (5) lablab (*Dolichos lablab*), (6) feijão-guandu (*Cajanus cajan*), (7) crotalária (*Crotalaria juncea*) e (8) feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*).

A área total utilizada para o experimento foi de 192 m^2 e cada tratamento teve uma área de 8 m^2 . A semeadura ocorreu nos dias 19 e 26 de maio de 2018, conforme as recomendações agrônomicas de cada espécie. O espaçamento entre as linhas utilizadas para todas as seis espécies de leguminosas foi de 50 cm, enquanto que os espaçamentos entre as plantas foram de 25 cm para mucuna preta, mucuna cinza e feijão de porco; 8 cm para lablab e 4 cm para feijão guandu e crotalária.

Não foi feita adubação mineral, mas foram aplicados 220 g m^{-2} de húmus de minhocas nas áreas onde foram semeadas as leguminosas. Após análise química desse material, observaram-se valores de pH em H_2O de 6,27; teores disponíveis de N e P de $12,00$ e $0,95 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Os teores trocáveis de $4,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Ca^{2+} , $3,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Mg^{2+} e $1,20$ para K^+ .

No florescimento (aos 67 dias após a semeadura), as plantas leguminosas foram cortadas, deixando-se o material vegetal na superfície do solo para a decomposição da palhada. A parcela útil do estudo de decomposição da palhada foi a mesma parcela inicial, onde as plantas leguminosas foram semeadas. A área da parcela utilizada para coletar as amostras para quantificação da massa seca da parte aérea das leguminosas foi de $0,50 \text{ m}^2$. Um quadrado de madeira com área de $0,50 \text{ m}^2$ foi utilizada para coletar amostras de plantas leguminosas antes do corte. As amostras foram pesadas, colocadas em sacos de papel e levadas para estufa à 65 °C até o peso constante.

Aos 78 dias após o corte, em cada tratamento, foram coletadas amostras indeformadas do solo em três pontos da área (triplicatas) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, utilizando-se anéis volumétricos. A densidade de solo (Ds) foi determinada pelo método de anel volumétrico e a densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, conforme as metodologias descritas por Teixeira et al. (2017). A porosidade total (Pt) foi estimada subtraindo da unidade a relação entre Ds e Dp, conforme a equação (1).

$$Pt = \left[1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \right] \quad (1)$$

Em que, Pt é a porosidade total (cm cm^{-3}), Ds é a densidade de solo (g cm^{-3}) e Dp densidade de partículas (g cm^{-3}).

O método utilizado para determinar o carbono orgânico total (COT) foi proposto por Walkley-Black e modificado por Yeomans e Bremner (1988). O procedimento é baseado na oxidação úmida com dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) em meio ácido, utilizando-se uma fonte externa de calor para maximizar a oxidação, seguida

de titulação do excesso do cromo com sulfato ferroso amoniacal [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]. E, por meio do valor da Ds e do teor do COT, foi possível estimar o estoque de carbono do solo (EstC) em cada área do tratamento, de acordo com a equação (2) proposta por Veldkamp (1994).

$$\text{EstC} = \left[\frac{Ds * \text{COT} * E}{10} \right] \quad (2)$$

Em que, EstC é o estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (t ha^{-1}), COT é teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1}), Ds é a densidade de solo estudada (g cm^{-3}) e, E é a espessura da camada considerada (cm).

O Nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl (1883). O princípio dessa metodologia é fundamentado na conversão de N orgânico contido na amostra para amônio (NH_4^+) por meio da digestão sulfúrica, e na quantificação deste N convertido através de quantidade de amônia (NH_3) liberado durante a destilação do digerido em meio alcalino, conforme Bremner (1996). O estoque de Nitrogênio (EstN) no solo foi calculado utilizando a equação (3).

$$\text{EstN} = \left[\frac{Ds * \text{NT} * E}{10} \right] \quad (3)$$

Em que, EstN é o estoque de nitrogênio (t ha^{-1}) em determinada profundidade; NT é teor de nitrogênio total na profundidade amostrada (g kg^{-1}); Ds é a densidade de solo estudado (g cm^{-3}) e, E é a espessura da camada considerada (cm).

A relação de carbono com nitrogênio C:N foi estimada a partir da relação entre os teores de COT e NT.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), além da realização do teste Tukey para comparação das médias. Também, foram realizadas análises de correlação simples de Pearson entre a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas leguminosas, com os teores de COT, NT, Ds e Pt em cada profundidade de solo amostrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de massa seca da parte aérea (MSPA) estimada para as leguminosas utilizadas como plantas de cobertura foi, na ordem decrescente de: crotalária (15,00 t ha⁻¹), feijão-de-porco (8,22 t ha⁻¹), feijão-guandu (7,07 t ha⁻¹), mucuna cinza (6,95 t ha⁻¹), mucuna preta (4,21 t ha⁻¹) e lablab (2,64 t ha⁻¹). As plantas de cobertura não alteraram a densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), porosidade total (Pt), nitrogênio total (NT) e a relação de carbono com nitrogênio (C:N) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, em razão da textura arenosa do solo e, possivelmente, pelo fato de ser necessário um tempo experimental maior para ter uma resposta positiva sobre estas propriedades. Porém, essas plantas de cobertura contribuíram para o aumento dos teores de carbono orgânico total (COT) em ambas as profundidades do solo (Tabela 1).

Os valores da Ds encontrados neste experimento variaram de 1,48 a 1,56 g cm⁻³ para a camada de 0-5 cm, e de 1,52 a 1,59 g cm⁻³ na camada de 5-10 cm (Tabela 1), estando abaixo do limite crítico (<1,70 g cm⁻³) sugerido por Rodrigues et al. (2016) para solos com baixos teores de argila. Esses valores foram associados à dominância de partículas de areia no solo sob plantas leguminosas.

A variação de Dp entre os tratamentos na camada de 0-5 cm foi de 2,49 a 2,67 g cm⁻³, e para 5-10 cm foi de 2,52 a 2,67 g cm⁻³ (Tabela 1), o que também evidencia a existência dominante de minerais da fração grossa, principalmente de quartzo, pois o valor da Dp está muito relacionado com o tipo e a quantidade de componentes minerais e orgânicos de solo.

Ruehlmann e Körschens (2020), ao estudarem o efeito da composição mineral das frações areia, silte e argila na DP, observaram que os solos com marcante presença de quartzo e feldspato tendem a apresentar os valores da Dp menores do que a de solos com maiores quantitativos de óxidos de ferro e caulinita, devido às massas específicas mais altas das argilas oxídicas e caulínicas em relação a minerais de quartzo e feldspato.

Os valores da Pt encontrados neste experimento variaram de 0,373 a 0,414 cm cm⁻³ para a camada 0-5 cm, e de 0,372 a 0,418 cm cm⁻³ na camada 5-10 cm (Tabela 1), estando na faixa não restritiva da produção agrícola. Conforme Rodrigues et al. (2016), valores de Pt menores que 0,10 cm cm⁻³ são críticos para os solos arenosos, visto que nesta condição o desenvolvimento radicular de plantas é restringido e trocas gasosas no solo são dificultadas.

Apesar do curto tempo de experimento (78 dias após o corte das plantas leguminosas), houve aumento significativo nos teores de COT em tratamento com mucuna cinza. O efeito de tratamento com mucuna cinza aumentou em 113,58 % o conteúdo de COT na camada de 0-5 cm e em 89,04 % os níveis de COT na camada de 5-10 cm. O teor de COT no solo sob mucuna cinza foi de 17,3 g kg⁻¹ na profundidade de 0-5 cm e de 13,8 g kg⁻¹ para 5-10 cm. Zhiyuan et al. (2019) usaram leguminosas como abudos verde e, após 8 anos, observaram

Tabela 1. Densidade de solo (Ds) e de partículas (Dp), porosidade total (Pt), teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação Carbono/Nitrogênio (C:N) no solo sob plantas leguminosas para adubação verde e cobertura do solo.

Tratamentos	Ds	Dp	Pt	COT	NT	C:N
	-----g cm ⁻³ -----	-----g cm ⁻³ -----	cm cm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----	-----g kg ⁻¹ -----	
0-5 cm						
Controle	1,54 a	2,49 a	0,373 a	8,1 b	0,90 a	9,28 a
Palha	1,56 a	2,55 a	0,382 a	11,5 b	1,00 a	11,5 a
Mucuna preta	1,50 a	2,60 a	0,414 a	11,9 ab	1,00 a	11,9 a
Mucuna cinza	1,48 a	2,55 a	0,410 a	17,3 a	1,20 a	14,62 a
Lablab	1,55 a	2,53 a	0,379 a	8,4 b	0,80 a	11,23 a
Feijão guandu	1,55 a	2,67 a	0,409 a	11,5 b	1,00 a	11,5 a
Crotalária	1,54 a	2,49 a	0,373 a	13,3 ab	1,00 a	13,3 a
Feijão de porco	1,55 a	2,51 a	0,394 a	12,4 ab	1,00 a	12,4 a
F	0,397	1,452	0,906	6,876	0,446	0,092
Valor-p	0,889	0,261	0,529	0,001	1,043	2,259
5-10 cm						
Controle	1,59 a	2,58 a	0,372 a	7,3 d	0,70 a	10,43 a
Palha	1,56 a	2,64 a	0,397 a	10,3 bc	0,70 a	10,71 a
Mucuna preta	1,52 a	2,67 a	0,396 a	10,1 bc	0,60 a	16,83 a
Mucuna cinza	1,55 a	2,59 a	0,405 a	13,8 a	0,80 a	17,25 a
Lablab	1,57 a	2,54 a	0,353 a	8,1 cd	0,60 a	13,5 a
Feijão guandu	1,57 a	2,57 a	0,361 a	9,9 bc	0,60 a	16,5 a
Crotalária	1,53 a	2,71 a	0,418 a	11,5 ab	0,70 a	16,43 a
Feijão de porco	1,53 a	2,52 a	0,376 a	9,0 bcd	0,60 a	15,00 a
F	0,944	0,106	1,000	14,616	0,730	0,586
Valor-p	0,296	2,148	0,407	0,000	0,621	0,821

*Médias, para cada profundidade de solo, seguidas pelas mesmas letras na coluna são semelhantes estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

aumento do C no campo de até 91%, em comparação com o tratamento controle (solo sem cobertura vegetal).

Os conteúdos de NT encontrados neste experimento variaram de 0,8 a 1,2 g kg⁻¹ para a camada 0-5 cm, e de 0,6 a 0,8 g kg⁻¹ na camada 5-10 cm (Tabela 1). As plantas leguminosas não aumentaram os teores de NT e este fato foi associado a curto tempo da condução da pesquisa (78 dias após o corte das plantas leguminosas). Silva et al. (2015) avaliaram o efeito de manejos de adubação orgânica e aporte de resíduos vegetais sobre os estoques de C e N, e a Ds em um agroecossistema de café conilon no estado do Espírito Santo, e apontaram um tempo de 10 a 35 anos para que ocorram efeitos significativos sobre os estoques de N em solo de textura franco-arenosa.

Os resultados da C:N observados neste trabalho variaram de 9,28 a 14,62 para a camada 0-5 cm, e de 10,43 a 17,25 na camada 5-10 cm (Tabela 1). De acordo com Castro et al. (2018), a qualidade e a permanência da matéria orgânica no solo estão relacionadas à relação C:N, em que quanto menor for essa relação, maior é a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos, enquanto que a maior relação C:N ocasiona a degradação mais lenta desses resíduos.

Os valores da relação C:N do solo observados no presente trabalho estão abaixo de 20, o que significa que a mineralização foi predominante em relação a imobilização, sugerindo a influência das leguminosas estudadas sobre o solo, e que existe N suficiente para que ocorra a fácil decomposição desse material. Conforme Santos e Meurer (2018), as leguminosas liberam mais N, fósforo e potássio do que gramíneas utilizadas como adubos verdes. E isso pode ser associada a baixa relação C:N que os resíduos orgânicos de leguminosas apresentam.

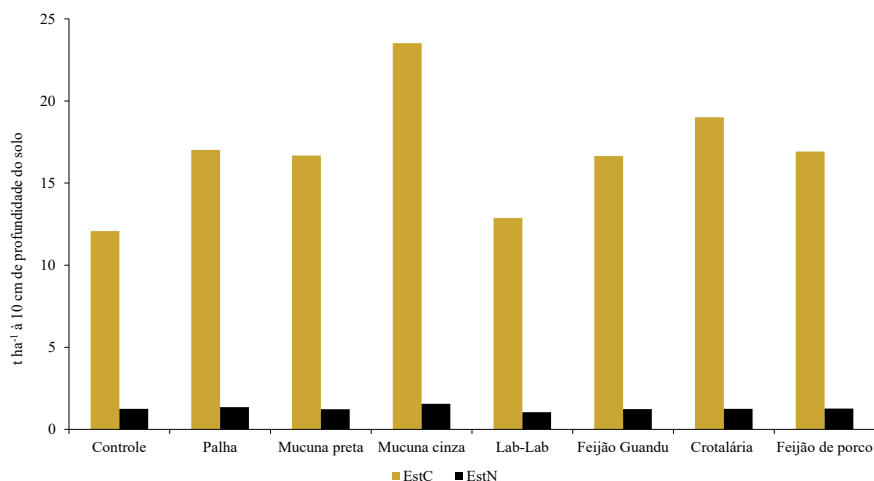
As leguminosas não alteraram EstN, porém contribuíram para o acréscimo do EstC no solo (Figura 2). Os valores de EstC na profundidade do solo 0-10 cm (resultantes da soma

entre o EstC na camada de 0-5 e 5-10), sob plantas de cobertura foram, na ordem decrescente: mucuna cinza (23,52 t ha⁻¹), crotalária (19,01 t ha⁻¹), palha (17,02 t ha⁻¹), feijão-de-porco (16,92 t ha⁻¹), mucuna preta (16,68 t ha⁻¹), guandu (16,65 t ha⁻¹), lablab (12,87 t ha⁻¹) e controle (12,06 t ha⁻¹).

A produção da biomassa de crotalária (15,00 t ha⁻¹) foi comparativamente maior que a da mucuna cinza (6,95 t ha⁻¹), no entanto, o EstC no solo sob mucuna preta foi maior em relação ao observado na área sob crotalária. Pereira et al. (2016) recomendam *Crotalaria juncea* como espécie de leguminosa para maior persistência de resíduos no solo, devido a sua lenta decomposição.

O aumento percentual do EstC no solo pelas plantas de cobertura em relação ao tratamento controle foi, de maior para menor: mucuna cinza (95,02%), crotalária (57,63%), palha (41,13%), feijão-de-porco (40,30%), mucuna preta (38,31%), guandu (38,06%) e lablab (6,72%). Estes resultados observados podem sugerir a confirmação do uso de espécies de leguminosas como alternativa viável para o sequestro de C no solo e redução em parte das emissões antrópicas dos gases de efeito estufa (GEE). Conforme Minasny et al. (2017), os solos de áreas agrícolas manejadas podem sequestrar, em até 1 m de

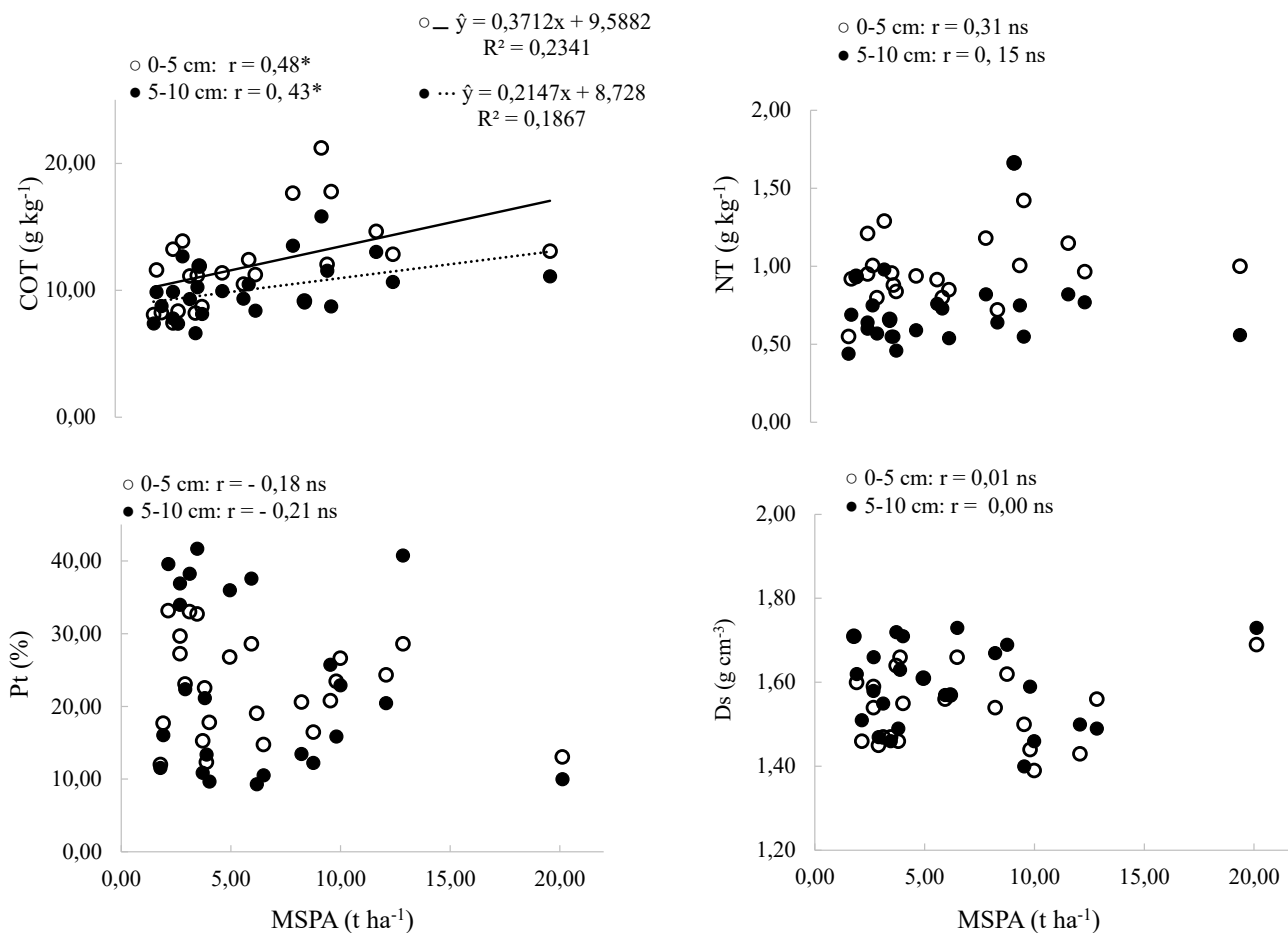
Figura 2. Estoques de carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) para camada 0-10 cm do solo sob plantas leguminosas de adubação verde.



profundidade, 2 a 3 gigatoneladas de C por ano (Gt ano⁻¹), o que pode compensar cerca de 20 a 35% das emissões antropogênicas de GEE.

A MSPA produzida por plantas leguminosas empregadas neste estudo apresentou correlação significativa com COT, sendo explicada por uma regressão linear. Isso indica efeito positivo sobre os estoques de C do solo. Mas, a fitomassa das espécies de leguminosas não se correlacionou com NT, Ds e Pt (Figura 3). O que sugere uma influência insignificante sobre EstN e atributos físicos do solo, nas condições do estudo.

Figura 3. Correlação de Pearson (r) entre a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas leguminosas e carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds).



Rosset et al. (2014) observaram que os teores de COT foram correlacionados positivamente com os atributos químicos do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC e V), confirmando que a biomassa produzida por plantas de cobertura aumenta o estoque de C e N no solo e, também contribui para o aumento da disponibilidade de nutrientes no sistema. De acordo com Salazar et al. (2020), os atributos físicos de solo, incluindo Ds e Pt, não foram melhorados após oito anos de safra de cobertura, tornando evidente que é preciso mais de oito anos para que ocorra efeitos de plantas de cobertura sobre a qualidade física do solo.

CONCLUSÃO

A adubação verde com as plantas leguminosas é capaz de aumentar o estoque de C do solo mesmo em curto prazo. A mucuna cinza (*Mucuna pruriens*) é a planta leguminosa com maior potencial para acumular C no solo da região do estudo. No entanto, para manutenção de resíduo orgânico no solo é recomendado o uso de *Crotalaria juncea*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela concessão de bolsa de iniciação científica e à empresa Pirai Sementes pela doação das sementes das leguminosas para a realização do experimento.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711–728, 2013. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507).
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(7):677–683, 2004. [10.1590/S0100-204X2004000700009](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009).
- BERENDSE, F.; VAN RUIJVEN, J.; JONGEJANS, E.; KEESSTRA, S. Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. *Ecosystems*, 18(5):881–888, 2015. [10.1007/S10021-015-9869-6](https://doi.org/10.1007/S10021-015-9869-6).
- BHATTACHARYYA, R.; GOSH, B. N.; MISHRA, P. K.; MANDAL, B.; RAO, C. S.; SARKAR, D.; DAS, K.; ANIL, K. S.; LALITHA, M.; HATI, K. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Soil degradation in india: Challenges and potential solutions. *Sustainability (Switzerland)*, 7(4):3528–3570, 2015. [10.3390/SU7043528](https://doi.org/10.3390/SU7043528).
- BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison, Wis. (USA): Soil Science Society of America and America Society of Agronomy, 1996, p. 1085–1121.
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120:105–125, 2018. [10.1016/j.soilbio.2018.01.030](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030).
- CASTRO, G. C.; VIEIRA, C. R.; WEBER O. L. S. Carbono orgânico e nitrogênio total nas frações granulométricas e húmicas em solos sob diferentes texturas. *Nativa*, 6(6):575–581, 2018. [10.31413/nativa.v6i6.5378](https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5378).
- DENG, L.; SHANGGUAN, Z. Afforestation Drives Soil Carbon and Nitrogen Changes in China. *Land Degradation & Development*, 28(1):151–165, 2017. [10.1002/LDR.2537](https://doi.org/10.1002/LDR.2537).
- DENG, L.; LIU, S.; KIM, D. G.; PENG, C.; SWEENEY, S.; SHANGGUAN, Z. Past and future carbon sequestration benefits of China's grain for green program. *Global Environmental Change*, 47:13–20, 2017. [10.1016/J.GLOENVCHA.2017.09.006](https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2017.09.006).
- FORTUNA, A.; HARWOOD, R.; KIZILKAYA, K.; PAUL, E. A. Optimizing nutrient availability and potential carbon sequestration in an agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(8):1005–1013, 2003. [10.1016/S0038-0717\(03\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00084-1).
- FREITAS, B. B.; PAULETTO, D.; SOUSA, I. R. L. Crescimento inicial e biomassa de espécies utilizadas como adubo verde em sistemas de aleias. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 15(1):20–27, 2020. [10.18378/rvads.v15i1.6458](https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.6458).
- HE, Y. T.; ZHANG, W. J.; XU, M. G.; TONG, X. G.; SUN, F. X.; WANG, J. Z.; HUANG, S. M.; ZHU, P.; HE, X. H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. *Science of the Total Environment*, 532:635–644, 2015. [10.1016/j.scitotenv.2015.06.011](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.011).
- HU, X.; LI, Z.; CHEN, J.; NIE, X.; LIU, J.; WANG, L.; NING, K. Carbon sequestration benefits of the grain for Green Program in the hilly red soil region of southern China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2):271–278, 2021. [10.1016/J.ISWCR.2020.11.005](https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2020.11.005).
- KARLEN, D. L.; RICE, C. W. Soil degradation: Will humankind ever learn? *Sustainability (Switzerland)*, 7(9):12490–12501, 2015. [10.3390/su70912490](https://doi.org/10.3390/su70912490).
- KARLEN, D. L.; VEUM, K. S.; SUDDUTH, K. A.; OBRZYCKI, J. F.; NUNES, M. R. Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities. *Soil and Tillage Research*, 195:104365, 2019. [10.1016/J.STILL.2019.104365](https://doi.org/10.1016/J.STILL.2019.104365).
- KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie* 1883 22:1, 22(1):366–382, 1883. [10.1007/BF01338151](https://doi.org/10.1007/BF01338151).
- LAL, R. Land degradation and pedological processes in a changing climate. *Pedologist*, 55, (03):315–325, 2012.

- LI, Z.; LIU, C.; DONG, Y.; CHANG, X.; NIE, X.; LIU, L.; XIAO, H.; LU, Y.; ZENG, G. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China. *Soil & Tillage Research*, 166:1–9, 2017. [10.1016/j.still.2016.10.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.10.004).
- LIMA, I. M. O.; SILVA, M. F. G.; ENSINAS, S. C.; SILVA, J. R. M.; MARQUES-FILHO, W. C.; BARBOSA, G. F. Adubos verdes para o incremento dos estoques de carbono em Neossolo Quartzarênico de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(4):1-7, e5588, 2018. [10.5039/agraria.v13i4a5588](https://doi.org/10.5039/agraria.v13i4a5588).
- MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1):232-242, 2015. [10.1590/01000683rbc20150142](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150142).
- MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z-S.; CHENG, K.; DAS, B. S.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C-C.; VÅGEN, T-G.; VAN WESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292:59–86, 2017. [10.1016/j.geoderma.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002).
- OBOUR, P. B.; UGARTE, C. M. A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield. *Soil and Tillage Research*, 211:105019, 2021. [10.1016/J.STILL.2021.105019](https://doi.org/10.1016/J.STILL.2021.105019).
- PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN Y. L. Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em minas gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(3):725-736, 2015. [10.1590/01000683rbc20140028](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140028).
- PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; MIRANDA, F. R. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodí region, Ceará, Brazil. *Ciência Rural*, 46(6):970–975, 2016. [10.1590/0103-8478CR20140468](https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20140468).
- POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200:33–41, 2015. [10.1016/j.agee.2014.10.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024).
- RODRIGUES, M. S.; SOUZA, C.; LIMA, D. D.; SILVA, S. D. P.; ALVES, D. C.; MACHADO, N. S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida brasileira. *Ciencia del Suelo*, 34(1):139-144, 2016.
- ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(5):2351-2366, 2014. [10.5433/1679-0359.2014v35n5p2351](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n5p2351).
- RUEHLMANN, J.; KÖRSCHENS, M. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 2. Predicting the effect of the mineral composition of particle-size fractions. *Geoderma*, 375:114543, 2020. [10.1016/j.geoderma.2020.114543](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114543).
- SALAZAR, M. P.; SORACCO, C. G.; VILLARREAL, R.; POLICH, N. G.; BELLORA, G. L.; TURINETTO, M. J.; LOZANO, L. A. Winter cover crops effects on soil organic carbon and soil physical quality in a typical argiudoll under continuous soybean cropping. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44:e0200103, 2020. [10.36783/18069657rbc20200103](https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200103).
- SANTOS, B. S. A.; MEURER, N. V. F. Liberação de NPK por leguminosas e gramíneas – Análise comparativa, *Revista Pensar*, 4:20-29, 2018.
- SILVA, V. M.; TEIXEIRA, A. F. R.; SOUZA, J. L.; GUIMARAES, G. P.; BENASSI, A. C.; SÁ, E. M. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café Conilon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(5):1436-1444, 2015. [10.1590/01000683rbc20140520](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140520).
- SOUSA, F. F.; SANTOS, R. H. S.; CARNEIRO, J. E. S.; URQUIAGA, S. Adubação verde de feijoeiro em consórcio com cafeeiro na agricultura familiar de Araponga, Minas Gerais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(4):674-679, 2017. [10.18378/rvads.v12i4.4939](https://doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4939).
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3ed. Brasília, DF: Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA), 2017, 577p.
- TOLLEFSON, J. The 2 ° C dream. *Nature*, 527:436–438, 2015.
- VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1):175–180, 1994. [10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x](https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x).
- WANG, T.; KANG, F.; CHENG, X. Q.; HAN, H. R.; JI, W. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. *Soil & Tillage Research*, 163(50):176–184, 2016.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(13):1467–1476, 1988. [10.1080/00103628809368027](https://doi.org/10.1080/00103628809368027).
- ZHIYUAN, Y.; DABIN, Z.; NA, L.; PENGWEI, Y.; NA, Z.; YANGYANG, L.; SUIQI, Z.; BINGNIAN, Z.; DONGLIN, H.; ZHAOHUI, W.; WEIDONG, C.; ADL, S.; YAJUN, G. Dynamics and Sequestration Potential of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Leguminous Green Manure-Based Cropping Systems on the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 191:108–116, 2019. [10.1016/J.STILL.2019.03.022](https://doi.org/10.1016/J.STILL.2019.03.022).