

Artigo

Avaliação do Impacto do Cultivo de Citros sobre os Estoques de Carbono e Nitrogênio das Frações Leves da Matéria Orgânica de Solos Antrópicos (Terras Pretas de Índio) e Solos Adjacentes (Latosolos) da Amazônia Central

Chagas, L. F. B.; Falcão, N. P. S.; Padilha, F. J.; Oliveira, D. M.; Guimarães, R. S.; Campos, D. V. B.; Walverde, E. M.; Ferreira, P. H. Z.; Soares, R.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 2067-2081. Data de publicação na Web: 25 de outubro de 2017

<http://rvq.sbq.org.br>

Evaluation of the Impact of Citrus Cultivation on Carbon and Nitrogen Stocks of Light Organic Matter Fractions of Amazonian Dark Earth (ADE) and Surrounding Soils (Oxisoil) from Central Amazonia

Abstract: The Amazonian Dark Earth (ADE), that is extremely efficient soils in retaining great amount of organic matter of the soil, and for long time, they are still little known with relationship to the effects on the physical fractions of those soils in these adapt tropical region. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the space distributions and in depth of the light organic fractions and the stock of carbon and nitrogen in ADE and Yellow Oxisoil (Latosolo Amarelo), under cultivation of orange Pêra Rio (Citrus sinensis (L.) Osbeck) in Laranjal Cost, Manacapuru - AM. The physical fractionation of the organic matter was done by densimetric method, where they were extracted the free light fractions and intra-aggregated light fraction in solution of iodeto of sodium. Granulometria analyses, fertility and total organic carbon were accomplished (C) of the soils. The results showed that C, when comparing ADE and LA, was larger in ADE, having also been expressed in the stocks of carbon. The contents of carbon from free light fraction have been major as the contents of carbon from intra-aggregated light fraction on ADE and LA.


Keywords: Amazonian Dark Earth; Stock of carbon and nitrogen; physical fractionation of the soil organic matter; global climate change.

Resumo

As Terras Pretas de Índio (TPI) são solos eficientes em reter grande quantidade de matéria orgânica, mas ainda são pouco conhecidas quanto aos efeitos sobre as frações físicas do solo nestes ambientes tropicais. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar as distribuições espaciais e em profundidade das frações orgânicas leves e o estoque de carbono e nitrogênio em Latossolo Amarelo com A antrópico (TPI) comparado a um Latossolo Amarelo distrófico típico (LA), sob o mesmo cultivo de laranja Pêra Rio (Citrus sinensis (L.) Osbeck) na Costa do Laranjal, Manacapuru – AM. O fracionamento físico foi determinado pelo método densimétrico, onde foram extraídas as frações leves livres e intra-agregadas em solução de iodeto de sódio. Foram realizadas análises de granulometria, fertilidade e carbono orgânico total (C) dos solos. Os resultados demonstraram que o carbono, ao se comparar TPI e LA, foi maior na TPI, tendo sido expresso também nos estoques de carbono. Finalmente, as concentrações de carbono da Fração Leve Livre foram maiores que os teores de carbono da Fração Leve Intra-agregada na TPI e no LA.

Palavras-chave: Terra Preta de Índio; Estoques de carbono e nitrogênio; Fracionamento físico da matéria orgânica; mudanças climáticas globais.

* Instituto Estadual do Ambiente, Avenida Venezuela, nº 110; CEP 20081-312, Saúde, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

 ricardo Soaresuff@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20170123](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170123)

Avaliação do Impacto do Cultivo de Citros sobre os Estoques de Carbono e Nitrogênio das Frações Leves da Matéria Orgânica de Solos Antrópicos (Terras Pretas de Índio) e Solos Adjacentes (Latosolos) da Amazônia Central

Lílian F. B. Chagas,^a Newton P. S. Falcão,^b Felipe J. Padilha,^b Danielle M. Oliveira,^b Rodrigo S. Guimarães,^b David V. B. de Campos,^c Eleandro M. Walverde,^d Paulo H. Z. Ferreira,^d Ricardo Soares^{d,*}

^a Universidade Federal do Tocantins, Departamento de Produção Vegetal, Campus Universitário de Gurupi, Caixa Postal 66, CEP 77402-970, Gurupi-TO, Brasil.

^b Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Tecnologia e Inovação, Caixa Postal 478 - Campus III – V8, CEP 69011-970, Manaus-AM, Brasil.

^c Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000, Jardim Botânico, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

^d Instituto Estadual do Ambiente, Avenida Venezuela, nº 110; CEP 20081-312, Saúde, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* ricardosoaresuff@gmail.com

Recebido em 24 de outubro de 2017. Aceito para publicação em 24 de outubro de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

2.2. Amostragem

2.3. Métodos analíticos

2.4. Análise estatística

3. Resultados e Discussão

3.1. Fertilidade do Solo

3.2. Matéria Orgânica do Solo

3.3. Estoques de carbono e nitrogênio nos solos

3.4. Concentrações de carbono e nitrogênio das frações leves da matéria orgânica dos solos

3.5. Estoques de carbono e nitrogênio das frações leves da matéria orgânica dos solos

4. Conclusões

1. Introdução

O uso do solo para fins agrícolas, não somente na Amazônia, como também em qualquer outra região do mundo, somente poderá ser verdadeiramente contínuo e sustentável quando o agricultor adotar práticas de manejo efetivamente capazes de evitar o gradativo empobrecimento do mesmo.^{1,2} Esse empobrecimento resulta tanto da retirada de nutrientes do solo pelas colheitas sucessivas, como das degradações físicas ou químicas que podem ocorrer em consequência da erosão, da lixiviação e da compactação do solo.¹⁻³

Os solos predominantes da região Amazônica pertencem às ordens dos Latossolos e dos Argissolos, caracterizados pelo baixo teor de nutrientes, acidez elevada, alta saturação de alumínio, predominância de minerais de argila de baixa atividade, baixa capacidade de troca de cátions e alta quantidade de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.³⁻⁶ Porém, na Amazônia existem ainda solos altamente férteis com horizontes superficiais de coloração escura, denominados Terra Preta do Índio (TPI), geralmente com elevados teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn e matéria orgânica estável.⁷ São encontrados recobrendo diversos tipos de solos de ocorrência na Amazônia brasileira, como latossolos, argissolos, cambissolos, plintossolos, nitossolos e sob floresta.^{3,4-9}

A matéria orgânica na TPI chega a ser seis vezes mais estável que nos solos adjacentes sem horizonte A antropogênico.¹⁰ Nesse sentido, em regiões agrícolas que mantêm tradição agrícola de mais de 50 anos e onde há uso intensivo dos recursos naturais, em especial o solo, o estudo da matéria orgânica do solo (MOS) em seus diversos compartimentos, visa desenvolver estratégias para a utilização sustentável desses solos, reduzindo o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente.

A permanência dos elevados conteúdos de matéria orgânica na TPI apresenta, de um

modo geral, importantes implicações para o estoque e sequestro do carbono no solo. Se o nível de matéria orgânica em solos agrícolas fosse aumentado na mesma proporção daqueles encontrados na TPI, acarretaria em um estoque extra de Carbono no solo, mitigando o teor de CO₂ atmosférico.⁵⁻⁶ Se os processos e mecanismos de formação da TPI forem conhecidos, podem ser utilizados também na recuperação de solos degradados.

No caso da TPI o conhecimento atual é importante para avaliar o potencial desse fenômeno para criar sistemas alternativos de manejo da fertilidade de solos altamente intemperizados em regiões de trópicos úmidos. Todavia, falta conhecimento exato e específico para a realização dessa atividade, principalmente com relação às interações físico-químicas e biológicas. Além disso, não é suficiente apenas poder recriar condições edáficas similares à TPI, mas devem-se ter condições de avaliar os potenciais efeitos ambientais do uso de uma tecnologia ou manejo do solo que resulta em condições similares à TPI.

O objetivo do trabalho foi avaliar as distribuições espaciais e em profundidade das frações orgânicas leves e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo Amarelo com A antrópico (TPI) comparado a um Latossolo Amarelo distrófico típico (LA) sob o mesmo cultivo de laranja Pêra Rio (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) na Costa do Laranjal, Manacapuru – AM.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O Município de Manacapuru insere-se no domínio climático do tipo tropical quente e úmido, Amw segundo classificação de Köppen, e precipitação pluviométrica relativamente abundante durante todo o ano, média de 2.250 mm/ano, com dois

meses secos, e o mês de menor precipitação sempre sendo superior a 60 mm. A temperatura média anual na região é de aproximadamente 28 °C.^{11,12}

O estudo foi desenvolvido na localidade Costa do Laranjal (Figura 1), município de Manacapuru – Amazonas, situada na margem esquerda do Rio Solimões, com latitude 3°14'S e longitude 60°07'W Gr em área de

Latossolo Amarelo distrófico típico (LA) e em Latossolo Amarelo com A antrópico, denominado Terra Preta de Índio (TPI). As áreas de estudo estavam sendo cultivadas há cerca de cinco anos com laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), variedade Pêra Rio, sobre o porta-enxerto limão-cravo (*Citrus limonia* Osbeck).

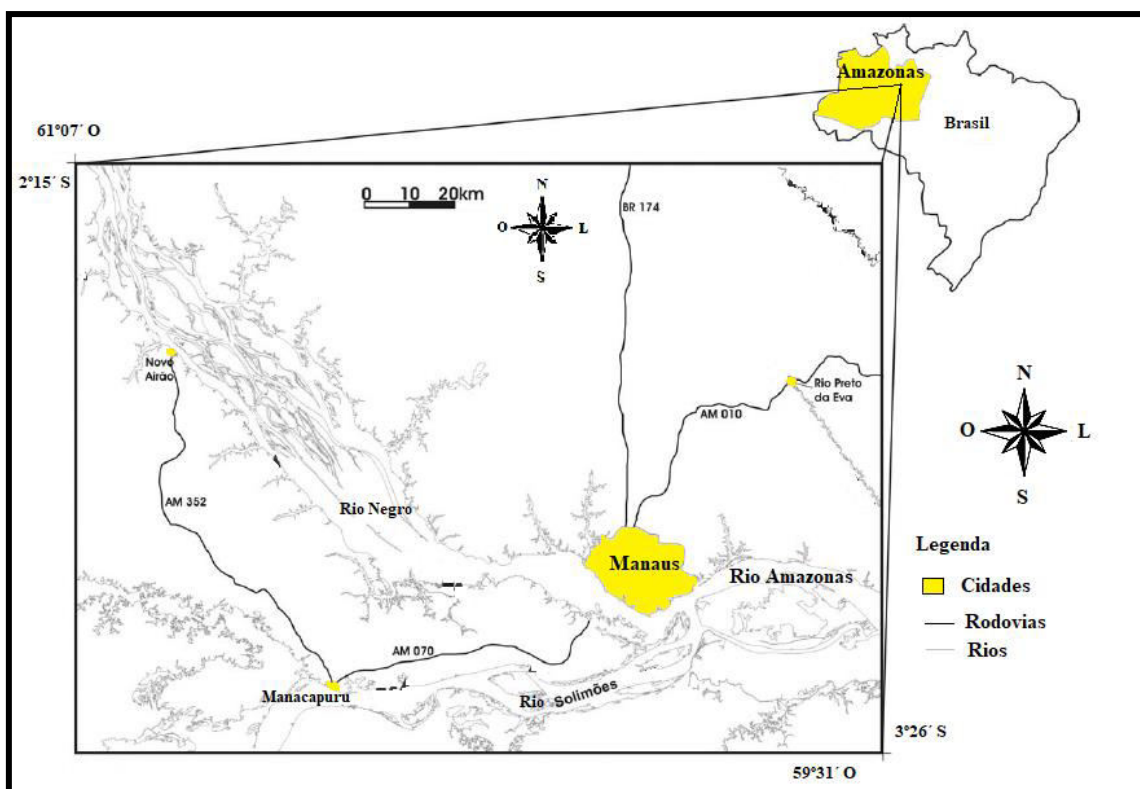


Figura 1. Localização do Município de Manacapuru, próximo a Manaus, AM.^{2,12}

2.2. Amostragem

A coleta das amostras foi realizada no ano de 2007. Inicialmente, em cada solo foram escolhidas aleatoriamente 10 plantas de Laranja Pêra Rio onde foram abertas mini-trincheiras de aproximadamente 40 cm de profundidade (Figura 2). As amostras de solo deformadas foram coletadas em duas distâncias do tronco (na linha de plantio em um metro do tronco da planta e entrelinha com dois metros de distância do tronco da planta), nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30

cm de profundidade, como recomendado pelo IPCC para a determinação de inventários de carbono no solo e adicionais estudos da matéria orgânica.¹³ Adicionalmente, foram coletadas amostras de solo indeformadas com anel volumétrico (5 cm de diâmetro por 5 cm de altura) em cada solo nas três profundidades para posteriores análises de densidade do solo conforme preconizado por Embrapa.¹⁴ As amostras coletadas foram analisadas separadamente para cada tipo de solo em delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições.

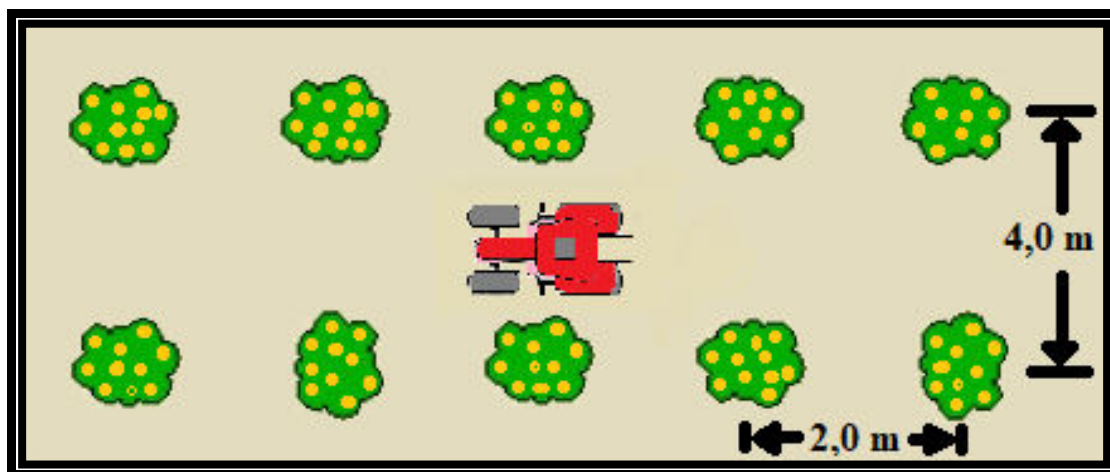


Figura 2. Layout do experimento

2.3. Métodos analíticos

Nas camadas mais superficiais das amostras estudadas, foram realizadas análises químicas de fertilidade e determinada a granulometria, conforme Embrapa.¹⁴

As análises de carbono e nitrogênio dos solos foram realizadas em analisador elementar Fisons instruments NA 1500 NC, utilizando-se aproximadamente 10 mg de material, previamente macerado em almofariz até atingirem a fina granulometria de talco. A digestão do material foi feita em câmara de combustão fechada a 920 °C. De posse desses valores determinaram-se os estoques de C e N sendo computados até a profundidade de 30 cm em unidade de área para todas as profundidades, e feita a correção da compactação do solo segundo método preconizado por Sisti e colaboradores.¹⁵ Adicionalmente, determinaram-se as relações C/N; os índices de estratificação (IE), dividindo-se os teores de C da camada de solo 0-10 cm pela camada 10-20 cm como sugerido por Franzluebbers.¹⁶

Para a obtenção das frações leves livre (FLL) e frações leves intra-agregados (FLIA) da matéria orgânica foi utilizado o método proposto por Sohi e adaptado por Machado, que consiste nos seguintes procedimentos:^{17,18} cerca de 5g de TFSA (Terra Fina Seca ao Ar) foram colocados em

tubos de centrífuga de 50 mL, adicionados 35 mL de iodeto de sódio (NaI, $d=1,80\text{g cm}^{-3}$) e agitados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas fiquem na superfície da solução. A seguir, as amostras foram deixadas em descanso por 24 horas a fim de promover a sedimentação das partículas minerais do solo. A fração orgânica sobrenadante presente na solução (FLL) foi succionada juntamente com a solução de NaI e, imediatamente, separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Stérifil, 47 mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47mm de diâmetro; 2 micros – Whatman tipo GF/A), previamente pesados. As frações leves foram extraídas do solo por meio de uma solução de NaI a uma densidade de $1,80\text{g cm}^{-3}$ ($\pm 0,02$), conforme sugerido por Janzen e colaboradores.¹⁸ As frações coletadas foram lavadas com água destilada, visando eliminar o excesso de NaI presente na fração e no filtro. A fração orgânica, juntamente com o filtro, foi, posteriormente, seca a 65 °C, pesada e macerada em cadinho de porcelana até atingir a fina granulometria de talco. Após a remoção da FLL, foi extraída a FLIA ou oclusa, aplicando-se vibração com emprego de equipamento de ultrassom (modelo 250/450 Sonifier) por 2 minutos com pulsações de intervalo de um segundo, a uma energia de 400 J mL^{-1} na solução de NaI. No solo restante no tubo de centrífuga, essa operação foi realizada, em banho de gelo, com objetivo de evitar uma brusca elevação

da temperatura. Após o tratamento com ultrassom, as amostras foram novamente deixadas em descanso por 36 horas, sendo a FLI coletada em filtros, seca, pesada e moída, da mesma maneira que foi realizada para a FLL. Foram obtidas três replicatas de laboratório para cada fração, sendo estas reunidas em uma única amostra, para determinação de C e N por oxidação por via seca.¹⁷

As análises de C e N das frações FLL e FLIA foram realizadas utilizando-se aproximadamente 7 mg de material, previamente macerado pelo mesmo procedimento realizado para a determinação de C e N nos solos intactos, como previamente descrito. Os estoques de carbono e nitrogênio das frações leves foram calculados utilizando o procedimento anteriormente descrito para o cálculo nos solos intactos.

2.4. Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente e as médias dos tratamentos comparados pelo teste Tukey a 5%, usando o programa ASSISTAT 7.4 beta.²⁰

Quando pertinente, efetuou-se análises de correlação simples, associando-se os valores dos diversos compartimentos da matéria orgânica entre si, com a verificação da significância dos coeficientes de correlação (*r*) efetuada pelo teste t-Student.

3. Resultados e Discussão

3.1. Fertilidade do Solo

Assim como observado por Major e colaboradores,¹² os solos TPI são mais férteis que os respectivos solos não-arqueológicos como evidenciado pelo maior pH, conteúdo em fósforo, saturação por bases e capacidade de troca catiônica (Tabela 1). A classe textural do solo de TPI apresenta-se como franco-argilosa ou textura média, enquanto que o Latossolo Amarelo possui textura argilosa. Ademais, os resultados de fertilidade obtidos para o solo TPI neste estudo são muito superiores aos encontrados em um Latossolo Amarelo Álico arenoso cultivado com Laranja Pêra por mais de 15 anos no estado da Bahia.¹

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de camadas superficiais dos solos: Terra Preta de índio (TPI) e Latossolo Amarelo Distrófico (sob cultivo de laranja pera)

Atributos	TPI	LA
pH em H ₂ O	6,1	4,8
P (mg kg ⁻¹)	476,9	12,2
Fe (mg kg ⁻¹)	113,2	196,5
Mn (mg kg ⁻¹)	42,5	17,1
Zn (mg kg ⁻¹)	16,2	1,4
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,2	0,1
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	11,2	1,1
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	1,5	0,2
H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,04	1,24
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	12,94	2,64
V (%)	99,69	5,03
Areia (g kg ⁻¹)	425,9	419,6
Silte (g kg ⁻¹)	271,5	102,7
Argila (g kg ⁻¹)	302,6	477,7

pH(H₂O); P = P-Mehlich-1; CTC = Capacidade de troca de cátions; (V) = Saturação por bases.

3.2. Matéria Orgânica do Solo

Em geral, não foram encontradas diferenças significativas nas concentrações de carbono e nitrogênio, densidade do solo (DS) e relações C/N quando se compararam, em todas as profundidades, as linhas e entrelinhas de plantio em cada solo avaliado (Tabela 2). Não obstante o carbono da TPI na linha apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,01$) da profundidade 0-10 cm para as profundidades 10-20 e 20-30 cm, por outro lado na entre linha, somente as profundidades 0-10 e 20-30 cm

apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). O carbono do LA na linha apresentou diferença significativa ($p < 0,01$) nas três profundidades, já na entre linha apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) nas profundidades 0-10 e 20-30 cm na (Tabela 2).

As concentrações de carbono da área de TPI foram próximas ou superiores, e apresentando mesma tendência de queda suave com a profundidade, quando comparadas com determinações realizadas em diferentes áreas de TPI na bacia amazônica.^{4,6,21-23}

Tabela 2. Teores de carbono (C), nitrogênio (N), relações C/N, densidade do solo (DS) e índices de estratificação (IE) nas linhas (L) e entrelinhas (EL) dos solos sob cultivo de laranja Pêra

Solo	Prof. (cm)	C		N		C/N		DS	IE	
		-----(g kg^{-1}) -----						(kg m^{-3})	L	EL
		L	EL	L	EL	L	EL		L	EL
TPI	0-10	36,06 aA	35,02 aA	2,48 aA	2,44 aA	14,34 bA	14,25 bA	1,15 a		
	10-20	24,58 bA	25,20 abA	1,58 bA	1,68 bA	15,78 aA	15,16 aA	0,93 a	1,49aA	1,46aA
	20-30	22,96 bA	21,64 bA	1,30 bA	1,14 bA	17,44 aA	18,48 aA	1,31 a		
LA	0-10	23,88 aA	25,32 aA	1,60 aA	1,58 aA	15,09 aA	15,88 aA	1,35 a		
	10-20	17,66 bA	16,80 bA	1,22 bA	1,10 abA	14,55 aA	15,35 aA	1,16 a	1,37aA	1,50aA
	20-30	12,68 cA	16,44 bA	0,82 cA	1,06 bA	15,52 aA	15,34 aA	1,36 a		

TPI= Terra Preta de Índio; LA= Latossolo Amarelo. Valores seguidos por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

As concentrações de carbono nos perfis de TPI demonstraram o significativo acúmulo de material orgânico pelas populações

ameríndias, pois foram superiores aos apresentados pelos perfis de Latossolo Amarelo, corroborando a afirmação de que

as TPI's são muito mais ricas em matéria orgânica do que os solos adjacentes ou representativos da região amazônica.²²⁻²⁴ Além disso, estas concentrações foram aproximadamente três vezes mais elevadas que as obtidas para um Latossolo Amarelo cultivado com Laranja Pêra na Bahia.¹

As concentrações de nitrogênio da TPI foram maiores que os teores encontrados no LA nas três profundidades, tanto na linha quanto na entre linha (Tabela 2). Estas concentrações ao longo do perfil no solo de TPI assemelham-se muito aos que foram encontrados em solos sob floresta secundária, terciária e num solo sob pasto no estado de Rondônia.²⁵ Estes resultados apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) ao longo do perfil, onde, a profundidade 0-10 cm diferiu das profundidades 10-20 e 20-30 cm na linha e entre a linha da TPI. No LA as três profundidades na linha tiveram diferença significativa ($p < 0,05$), enquanto que na entre linha apenas a profundidade 0-10 cm diferiu significativamente ($p < 0,05$) da profundidade 20-30 cm

As Densidades dos Solos (DS) variaram entre as áreas de TPI e LA (Tabela 2). A área do LA mostrou-se mais densa ao longo das profundidades avaliadas do que a área de TPI, indicando ou menor porosidade, ou maior compactação, podendo também ser consequência do tempo de cultivo intenso e de baixos teores de matéria orgânica. Pois, solos cultivados sofrem maior compactação e consolidação natural, alterando-se os espaços porosos, dificultando a movimentação de água e ar.³ As menores DS da TPI podem indicar que o elevado teor de matéria orgânica atenuou a compactação ocasionada pelo cultivo de laranja pera e estão de acordo com os resultados obtidos por Soares em uma área de TPI sob floresta secundária no estado do Amazonas.^{4,6}

Não foram encontradas diferenças significativas nas relações C/N entre as

camadas dos perfis dos solos nas linhas e entrelinhas do LA. Contudo, na área de TPI nas linhas e entrelinhas foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as camadas mais superficiais (0-10 cm) e as mais profundas (Tabela 2). O aumento da relação C/N com a profundidade nos perfis sugere um acréscimo da contribuição de material vegetal de alta relação C/N.⁴ Adicionalmente, todas as áreas cultivadas apresentaram altas razões C/N, o que normalmente significa baixos níveis de incorporações de nitrogênio, e baixo grau de humificação.^{7,26}

Não foram encontradas diferenças significativas entre as áreas cultivadas quando se avaliou o índice de estratificação (IE), como pode ser visto pela Tabela 2. Entretanto, os valores de IE calculados foram menores que 2 o que indica uma tendência de baixa qualidade dos solos amazônicos.¹⁵ Contudo, o plantio pode ter levado a um decréscimo da qualidade do solo, possivelmente, devido à perdas de carbono do solo na camada superficial. Resumindo, estes resultados indicam que solos cultivados sob laranja pera podem contribuir para o acréscimo de perdas de carbono, transformando-os em possíveis fontes de CO₂ atmosférico.

3.3. Estoques de carbono e nitrogênio nos solos

Os resultados presentes na Tabela 3 indicam que os estoques de carbono vertical na TPI e no LA apresentaram uma redução em profundidade típica para solos amazônicos, maiores estoques na subsuperfície decrescendo bruscamente com a profundidade,²⁷ o que já seria esperado devido à influência dos organismos e vegetação sobre os horizontes superficiais.^{4,6,27}

Tabela 3. Estoques de carbono e nitrogênio nas linhas (L) e entrelinhas (EL) dos solos sob cultivo de laranja Pêra

Solo	Prof. (cm)	Estoque de carbono				Estoque de nitrogênio			
		----- (Mg ha ⁻¹) -----				----- (Mg ha ⁻¹) -----			
		Não corrigido		Corrigido		Não corrigido		Corrigido	
	L	EL	L	EL	L	EL	L	EL	
TPI	0-10	41,45 aA	40,26 aA	41,45 aA	40,26 aA	2,88 aA	2,82 aA	2,88 aA	2,82 aA
	10-20	22,87 bA	23,44 bA	22,87 bA	23,44 bA	1,45 bA	1,55 bA	1,45 bA	1,55 bA
	20-30	30,08 abA	28,36 abA	29,05 abA	27,42 abA	1,71 bA	1,51 bA	1,65 bA	1,45 bA
	0-30	94,40 aA	92,06 aA	93,37 aA	91,12 aA	6,04 aA	5,88 aA	5,98 aA	5,82 aA
LA	0-10	32,25 aA	34,21 aA	32,25 aA	34,21 aA	2,14 aA	2,14 aA	2,14 aA	2,14 aA
	10-20	20,48 bA	19,49 bA	20,48 bA	19,49 bA	1,40 bA	1,27 bA	1,40 bA	1,27 bA
	20-30	17,22 bA	22,35 bA	10,57 cA	8,63 cA	1,11 bA	1,45 bA	0,68 cA	0,26 cA
	0-30	69,94 bA	76,05 bA	63,30 bA	62,33 bA	4,65 bA	4,86 bA	4,22 bA	3,67 bA

TPI= Terra Preta de Índio; LA= Latossolo Amarelo. Valores seguidos por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os estoques de carbono e nitrogênio, comparando linha e entre linha, na mesma profundidade, em cada solo estudado não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Apesar dos estoques de carbono e nitrogênio da TPI ter sido superior aos do LA em valores, houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas entre o estoque de carbono na profundidade 20-30 cm, na linha. Os valores de estoque de nitrogênio nas profundidades 10-20 e 20-30 cm na linha e entre linha da TPI foram próximos aos valores encontrados por Soares,^{4,6} em solos de TPI da região de Rio Preto da Eva-AM.

3.4. Concentrações de carbono e nitrogênio das frações leves da matéria orgânica dos solos

As concentrações de Carbono Orgânico Total (C) e Nitrogênio Total (NT) encontrado nas diferentes áreas dos solos podem ser considerados uma característica da composição e estrutura da fração. Na FLL as concentrações de carbono encontradas foram significativamente ($p < 0,05$) maiores do que na FLI na linha e entre linha da TPI e do LA (Tabela 4).

Comparando-se os teores de carbono da FLL e da FLI tanto na linha quanto na entre linha, nas três profundidades, da TPI com os teores encontrados no LA, houve diferença

significativa ($p < 0,05$) para a FLL apenas na profundidade 10-20 cm da entre linha, sendo maior no LA. Para a FLI houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas na profundidade 20-30 cm da linha, sendo maior na TPI (Tabela 4). O aumento do teor de carbono em solos argilosos se deve às características dos minerais de argila, e aos maiores teores de ferro, que são apontados como um importante fator de proteção física do carbono orgânico no solo.²⁸ Esta retenção pode levar os solos mais argilosos a formar depósitos de carbono passivo.²⁸ Muitos estudos têm mostrado que o estoque e a ciclagem de carbono estão relacionados com fatores ainda não bem conhecidos como o clima, textura do solo, o tipo de vegetação, geologia e uso do solo.²⁹

Nas três profundidades de cada solo estudado houve diferença significativa ($p < 0,05$) para o C na FLL e FLI tanto na linha quanto na entre linha (Tabela 4). A FLI apresentou o mesmo comportamento da FLL, mostrando uma tendência de redução do carbono com a profundidade. O mesmo comportamento ocorreu em solos de TPI estudados por Soares na região do Rio Preto da Eva - AM, porém os teores de C da FLL e FLI foram menores que os encontrados pelo autor.^{4,6} A textura do solo, ou conteúdo de argila, tende a variar em escala local ao longo da topografia, sendo elemento-chave do estoque de carbono do solo e influenciando na disponibilidade e retenção de nutrientes, particularmente em solos altamente intemperizados.³⁰

O desmatamento e os efeitos das mudanças climáticas globais atuam diretamente na quantidade de carbono contida da FLL, que geralmente está presente em maior quantidade nas camadas superficiais dos solos.^{3,5} O carbono das

camadas mais superficiais é o mais suscetível à mineralização (emissão como CO_2 se desmatado). Em ecossistemas naturais os estoques de carbono orgânico podem ser drasticamente reduzidos, principalmente em regiões tropicais onde altas temperaturas, alta pluviosidade e intensa atividade biológica resultam em rápida decomposição do material orgânico depositado no solo.³ Geralmente, o carbono contido nas frações leves é predominante nas camadas superficiais dos solos, por isso aponta-se a necessidade da preservação dos solos sob floresta tropicais, pois eventuais mudanças de uso do solo sob floresta poderá permitir o decréscimo dos estoques de carbono ocasionando em potenciais emissões de carbono lábil para a atmosfera. O carbono das frações leves pode ser liberado facilmente do solo devido à sensibilidade destas frações diante manejos agrícolas inapropriados.^{3,5} Inclusive, a manutenção das frações leves é usado como um parâmetro para a avaliação da qualidade dos sistemas de manejo do solo.³⁻⁵

Quanto aos teores de NT das frações leves houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre a FLL e a FLI nas três profundidades da linha e entre linha da TPI, com exceção da profundidade 10-20 cm na linha que não apresentou diferença significativa. No LA, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre o NT da FLL e da FLI nas três profundidades da linha e entre linha (Tabela 4).

Comparando o NT da linha com a entre linha da TPI, tanto da FLL quanto da FLI, houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm no NT da FLI. No LA não houve diferença significativa do NT da FLL e FLI da linha para a entre linha (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de carbono (C), nitrogênio (N) e relações C/N nas frações leves Livres (FLL) e Intra-Agregadas (FLIA) da matéria orgânica nas linhas (L) e entrelinhas (EL) de solos cultivados com laranja Pêra no estado do Amazonas

Solo	Prof. (cm)	C				N				C/N			
		----- (g kg ⁻¹) -----											
		FLL		FLIA		FLL		FLIA		FLL		FLIA	
	L	EL	L	EL	L	EL	L	EL	L	EL	L	EL	
TPI	0-10	1,87aA	2,15aA	0,13aA	0,18aA	0,10aA	0,12aA	0,006aA	0,005aA	18,68aA	18,47aA	23,17aB	33,25aA
	10-20	0,45bA	0,43Ba	0,07aA	0,08bA	0,10bA	0,04bA	0,006aA	0,005aA	13,39aA	12,29aA	11,96bB	20,35bA
	20-30	0,51bA	0,43bA	0,06bA	0,04bA	0,03bA	0,02bA	0,006aA	0,004aA	19,70aA	19,63aA	11,80bA	11,77cA
LA	0-10	1,73aA	2,71aA	0,19aA	0,14aA	0,07aA	0,08aA	0,005aA	0,004aB	24,58aA	34,05aA	35,63aA	37,28aA
	10-20	0,53bA	0,86bA	0,08bA	0,07bA	0,05aA	0,04bA	0,003bA	0,003aB	25,35aA	26,93aA	26,10bA	29,05bA
	20-30	0,43bA	0,57bA	0,05bA	0,04bA	0,02aA	0,02bA	0,002bA	0,002aB	25,50aA	29,69aA	21,10bA	18,43bA

TPI= Terra Preta de Índio; LA= Latossolo Amarelo. Valores seguidos por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Nos dois solos estudados, observa-se a mesma tendência de redução do NT com a profundidade como ocorreu com o carbono. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) do NT da FLL da profundidade 0-10 cm para as profundidades 10-20 e 20-30 cm na linha e entre linha da TPI e na entre linha da FLL e linha da FLI do LA (Tabela 4). A concentração de nitrogênio total também está correlacionada com a textural do solo, com valores significativamente maiores nos solos argilosos. Os teores de nitrogênio no solo decrescem com aumento da profundidade e, em geral, a variação do nitrogênio acompanha as variações de carbono no solo.³⁰

A relação C/N pode ser considerada um parâmetro importante no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo, podendo ser um indicador da estabilidade da fração. A relação C/N foi mais alta nas frações leves tanto na linha quanto na entre linha do LA, variando de 24,58 a 35,63 na linha e de 21,09 a 37,28 entre linha, respectivamente. Isso se deve, provavelmente, à qualidade do material adicionado ao solo, pela capoeira existente, de maior relação C/N.

Comparando a relação C/N da FLL na linha e na entre linha e a relação C/N da FLI na linha e entre a linha, nas três profundidades, não houve diferença significativa nos dois solos estudados.

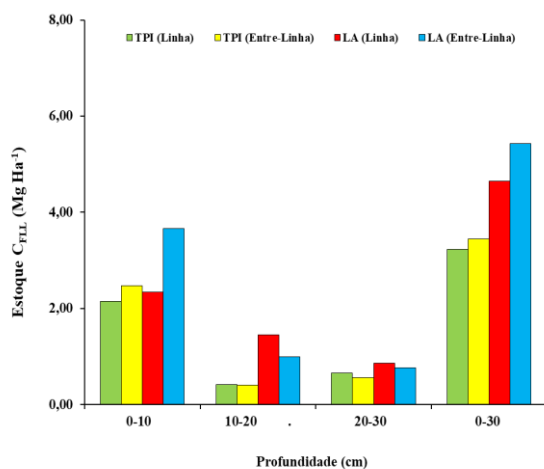
As frações leves (FLL+FLIA) são derivadas da decomposição dos resíduos de plantas e animais pela microbiota do solo. Logo, consistem em detritos orgânicos em

diferentes estágios de decomposição, assim como as formas derivadas de carbono pirogênico. Conseqüentemente, este compartimento da matéria orgânica do solo pode ser considerado um indicador sensível do manejo do uso do solo por responder mais rapidamente às mudanças nas práticas agrícolas em relação ao carbono orgânico total.^{1,4,6}

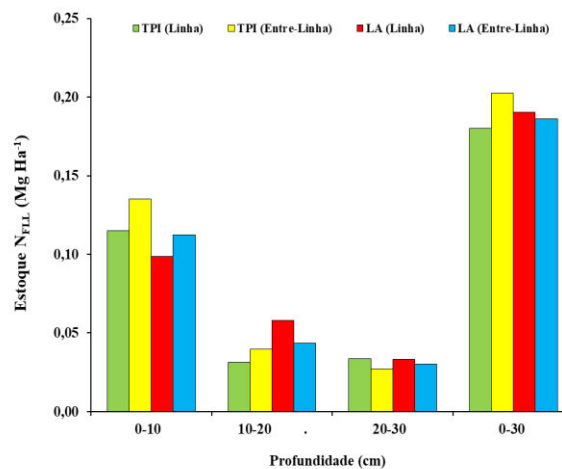
3.5. Estoques de carbono e nitrogênio das frações leves da matéria orgânica dos solos

Nas Frações Leves estudadas os estoques de carbono e nitrogênio se comportaram de maneira idêntica à concentrações de COT e NT, mostrando a mesma tendência de redução com a profundidade (Figura 3). Os maiores estoques de carbono da FLL foram encontrados na linha e entre linha do LA. O maior estoque de carbono na FLL do LA pode ser explicado pela maior densidade desse solo, pois solo mais compactado e menos poroso tem menor espaço para ser preenchido pela água e ar, diminuindo a atividade biológica, a fração, então, deixa de ser mineralizada e fica livre. Outra hipótese seria o teor de argila que é maior no LA, a argila envolve a matéria orgânica formando uma camada de proteção impedindo, assim, a mineralização, tornando a fração mais livre e fácil de ser extraída pelo método de fracionamento.

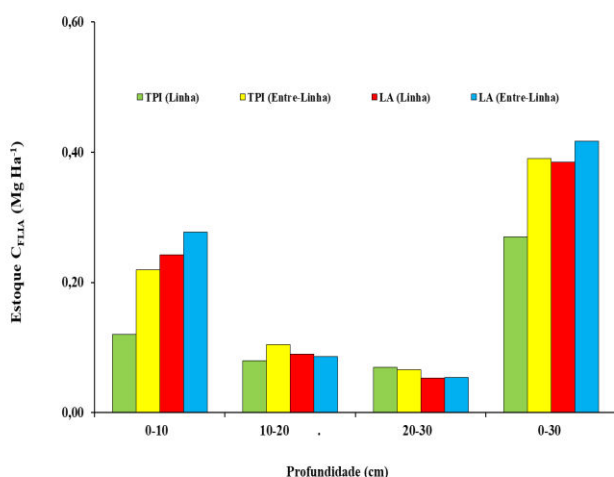
2.a) Estoque de Carbono da FLL



2.b) Estoque de Nitrogênio da FLL



2.c) Estoque de Carbono da FLIA



2.d) Estoque de Nitrogênio da FLIA

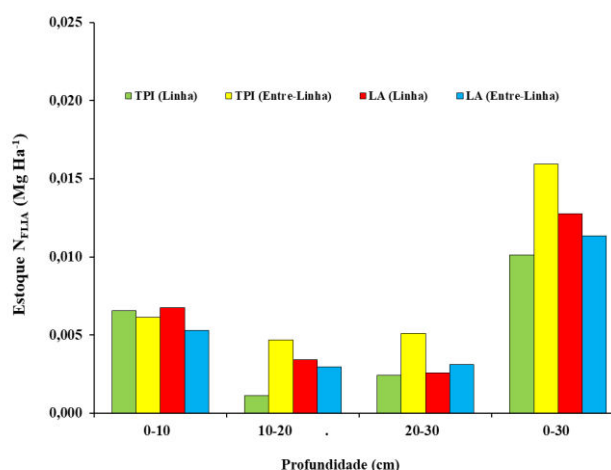


Figura 2. Estoques de carbono e nitrogênio das frações leves de solos cultivados com Laranja Pêra Rio em Manacapuru, AM

4. Conclusões

A Terra Preta de Índio mostrou maiores teores de Carbono Orgânico, Nitrogênio Total e maior fertilidade quando comparada com o Latossolo Amarelo nas três profundidades estudadas. Contudo, o conteúdo de Carbono Orgânico e Nitrogênio Total da fração leve livre na Terra Preta de Índio foram semelhantes aos encontrados no Latossolo Amarelo.

Os teores de carbono da Fração Leve Livre foram maiores que os teores da Fração Leve Intra-agregada e os estoques de carbono da Fração Leve Livre foram maiores no Latossolo Amarelo.

De modo geral, as amostras coletadas na linha da planta não apresentaram diferença das amostras coletadas na entre linha da planta em todas as variáveis estudadas.

Referências Bibliográficas

- ¹ Oliveira, F. E. R.; Oliveira, J. M.; Xavier, A. S. Changes in Soil Organic Carbon Fractions in Response to Cover Crops in an Orange Orchard. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2016**, *40*, 1. [[CrossRef](#)]
- ² Silva, A. C. S. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Brasil, 2006. [[Link](#)]
- ³ Marques, J. D. O.; Luizão, F. J.; Teixeira, W. G.; Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Sarrazin, M. Soil Carbon Stocks under Amazonian Forest: Distribution in the Soil Fractions and Vulnerability to Emission. *Open Journal of Forestry* **2017**, *7*, 121. [[CrossRef](#)]
- ⁴ Soares, R. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Brasil, 2007. [[Link](#)]
- ⁵ Moreira, A.; Malavolta, E. Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas). Piracicaba: CENA-USP. 2002. [[Link](#)]
- ⁶ Madari, B. E.; Cunha, T. J. F.; Soares, R. Organic matter of the Anthropogenic Dark Earths of Amazônia. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* **2011**, *5*, 21. [[Link](#)]
- ⁷ Moreira, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. *Bragantia* **2007**, *66*, 307. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Teixeira, W. G.; Martins, G. C. Soil physical characterization. In: Lehmann, J.; Kern, D. C.; Glaser, B.; Woods, W. I. (Eds.) Amazonian dark earths; origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- ⁹ Woods, W. I. Development of antroposol research. In: Lehmann, J.; Kern, D. C.; Glaser, B.; Woods, W. I. (Eds.) Amazonian dark earths; origin, properties and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- ¹⁰ Pabst, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para a discussão pedogenética. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, *Série Antropologia* **1991**, *7*, 5. [[Link](#)]
- ¹¹ Vieira, L. S.; Santos, P. C. T. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. São Paulo: Editora Ceres, 1987.
- ¹² Major, J.; Dittommaso, A.; Lehmann, J.; Falcão, N. P. S. Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2005**, *111*, 1. [[CrossRef](#)]
- ¹³ Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.; Lim, B.; Tréaton, K.; Mamaty, I.; Bonduki, Y.; Griggs, D. J.; Callander, B. A. Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Paris: IPCC; UNEP; OECD; IAEA, 1997. 3v. 1996.
- ¹⁴ Embrapa. Manual de métodos de análises químicas de solos. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa-CNPq, Rio de Janeiro. 212p, 1997. [[Link](#)]
- ¹⁵ Sisti, C. P. J.; Santos, H. P.; Kohhann, R.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, M. B. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* **2004**, *76*, 39. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Franzluebbers, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research* **2002**, *66*, 95. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Sohi, S.; Mahieu, N.; Aarah, J. R. M.; Powlson, D. S. P.; Madari, B. E.; Gaunt, J. L. Procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Science Society of America Journal* **2001**, *65*, 1121. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸ Machado, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – um procedimento para estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo. 1ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa solos. 6 p. Comunicado Técnico n° 9, 2002. [[Link](#)]
- ¹⁹ Janzen, H. H.; Campbell, C. A.; Brandt, S. A. Light – fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Science Society of America Journal* **1992**, *56*, 1799. [[CrossRef](#)]

- ²⁰ Silva, F. A. Z. ASSISTAT Versão 7.4 beta. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do CTRN-UFCG, Campus I, Campina Grande, Brasil, 2007.
- ²¹ Glaser, B.; Balashov, E.; Haumaier, L.; Guggenberger, G.; Zech, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry* **2000**, *31*, 669. [\[CrossRef\]](#)
- ²² Lima, H. N.; Schaefer, C. E. G. R.; Mello, J. W. V.; Ker, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma* **2002**, *110*, 1. [\[CrossRef\]](#)
- ²³ Lima, H. N.; Mello, J. W. V.; Schaefer, C. E. G. R.; Ker, J. C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazônica* **2005**, *35*, 317. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁴ Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. Bio-Char sequestration in terrestrial ecosystems – a Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **2006**, *11*, 403. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁵ Hughes, R. F.; Kauffman, J. B.; Cummings, D. L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondônia, Brazil. *Ecosystems* **2002**, *5*, 244. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁶ Stevenson, F. J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2. Ed. New York: Wiley, 1994.
- ²⁷ Batjes, N. H.; Dijkshoorn, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma* **1999**, *89*, 273. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁸ Christensen, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science* **1992**, *20*, 1. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁹ Schimel, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle. *Global Change Biology* **1995**, *1*, 77. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁰ Silver, W. L.; Neff, J.; Mcgroddy, M.; Veldkamp, E.; Keller, M.; Cosme, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in lowland Amazonian forest ecosystem. *Ecosystems* **2000**, *3*, 193. [\[CrossRef\]](#)