



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Distribuição espacial e anisotrópica de atributos químicos do solo em agroecossistemas e floresta nativa em Canutama, sul do Amazonas

Thalita Silva Martins¹, Jose Mauricio da Cunha², Wildson Benedito Mendes Brito³, Robson Vinício dos Santos⁴, Alan Ferreira Leite de Lima⁵, Fernando Gomes de Souza⁶, Milton César Costa Campos⁷, Elilson Gomes de Brito Filho⁸, Flavio Pereira de Oliveira⁹

¹Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6662-6637>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ²Doutor em Física Ambiental, Docente da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6574-4540>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ³Doutorando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Humaitá – AM, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4267-5992>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁴Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0339-6197>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁵Doutorando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Humaitá – AM, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁶Doutor em Agronomia Tropical, Docente da Universidade Federal de Roraima – UFRR, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5653-3939>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁷Doutor em Ciência do Solo, Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁸Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6718-2126>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁹Doutor em Ciência do Solo, Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7968-6145>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com.

Artigo recebido em 25/09/2022 e aceito em 12/03/2023

RESUMO

As práticas agrícolas desenvolvidas na região amazônica, na maioria das áreas, têm estabelecido métodos de manejos que acabam interferindo facilmente nos atributos químicos do solo. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em áreas de agroecossistemas e floresta nativa em Canutama, região sul do Amazonas, na qual foram estabelecidas malhas amostrais com 80 pontos em cada uma das áreas, totalizando 320 amostras. As amostras foram submetidas à análise química, havendo o tratamento de dados por meio da estatística descritiva, em seguida foi realizado análise geoestatística para avaliar a existência de dependência espacial, havendo também a construção e modelamento de quatro semivariogramas direcionais para identificação da presença de anisotropia, resultando em dados com grande confiabilidade das variáveis analisadas, indicando solos ácidos para o pH das áreas, o potássio, cálcio e magnésio apresentaram valores expressivamente baixos, com exceção para o fósforo que obteve valores elevados em virtude do material de origem e o carbono orgânico foi maior nas áreas em que o pH indicou menores índices. Desta forma, observou-se anisotropia geométrica e combinada nas áreas, tendo a área com guaraná apresentado menores valores de alcance e o GDE portando-se em forte e moderado. Logo, concluiu-se que dentre as áreas avaliadas, os solos apresentaram uma grande dependência química relacionados ao carbono do solo, demonstrando na análise de alcance e dependência espacial que são sensíveis as alterações geradas pelo manejo, apresentando também em sua maioria anisotropia geométrica, onde o ângulo de 45° foi o mais representativo.

Palavras-chave: Anisotropia, Propriedades químicas, Dependência espacial, Amazonas

Anisotropic Spatial Distribution of Soil Chemical Attributes in Agroecosystems and Native Forest in Canutama, Southern Amazonas

ABSTRACT

Agricultural practices developed in the Amazon region, in most areas, have established management methods that end up easily interfering with the chemical attributes of the soil. Thus, the present work aimed to evaluate the spatial distribution of soil chemical attributes in areas of agroecosystems and native forest in Canutama, southern region of Amazonas, in which sampling grids with 80 points were established in each of the areas, totaling 320 samples. The samples were subjected to chemical analysis, with data processing using descriptive statistics, then geostatistical analysis was performed to assess the existence of spatial dependence, with the construction and modeling of four directional semivariograms to identify the presence of anisotropy, resulting in data with great reliability of the analyzed

variables, indicating acidic soils for the pH of the areas, potassium, calcium and magnesium presented expressively low values, with the exception of phosphorus, which obtained high values due to the source material and organic carbon was higher in areas where the pH indicated lower indices. In this way, geometric and combined anisotropy was observed in the areas, with the area with guarana presenting lower range values and the GDE behaving in strong and moderate. Therefore, it was concluded that, among the evaluated areas, the soils showed a great chemical dependence related to soil carbon, demonstrating in the analysis of range and spatial dependence that the changes generated by the management are sensitive, also presenting mostly geometric anisotropy, where the 45° angle was the most representative.

Keywords: Anisotropy, Chemical properties, Spatial dependency, Amazon.

Introdução

O avanço das práticas agrícolas desenvolvidas na região Amazônica tem sido condicionado, de maneira geral, pela agricultura convencional onde o uso de terras são delimitadas desde áreas de campos naturais e florestas a áreas com cultivo de pastagem e agricultura de subsistência, promovido pela agricultura familiar. Sendo assim, naturalmente, os solos amazônicos são caracterizados pela baixa fertilidade e elevados índices de acidez (Mendonça et al., 2021), na maioria das áreas, e mediante as práticas de manejos adotadas, como a retirada da vegetação de cobertura e as próprias técnicas de cultivo utilizadas, como aplicação de fertilizantes, corretivos e operações agrícolas, acabam interferindo facilmente nos atributos químicos do solo (Lima et al., 2022a), onde os cuidados e manutenção dessas propriedades são escassas, o que acabam alterando a integração do sistema, uma vez que a degradação dos atributos do solo está veementemente relacionada ao uso inadequado do mesmo, provocando desestruturação, compactação, redução da fertilidade, diminuição da diversidade e quantidade de organismos no solo e perda de matéria orgânica, levando a redução da capacidade restauradora do solo causando perdas dos seus principais componentes (Santos et al., 2021).

Deste modo, conhecer as propriedades químicas do solo torna-se fundamental para garantir um bom planejamento de uso da terra. Segundo Noetzold (2018), a heterogeneidade na distribuição do solo na superfície é responsável pela variabilidade espacial e contínua de seus atributos, que podem interferir diretamente na produção agrícola. Contudo, quando este fenômeno indica diferentes padrões de dependência espacial, ou seja, exibe uma variabilidade que não é a mesma em todas as direções, é chamado de anisotrópico (Brito et al., 2022). Desta forma, a anisotropia é uma

característica frequente dos elementos da natureza, onde sua distribuição espacial tende a ocorrer com maior intensidade em uma direção do que em outra (Silva et al., 2021). Sendo assim, o comportamento anisotrópico pode ser identificado no solo quando há influência do relevo, das linhas de plantio e espaçamento entre linhas, o qual faz determinados atributos terem uma tendência direcional. Portanto, a variabilidade espacial dos atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é indispensável na agricultura moderna, uma vez que mínimas alterações podem levar a grandes diferenças de produtividade (Araújo et al., 2022).

Desta maneira, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo ainda são pouco explorados, comparado aos atributos físicos, mas são fundamentais para determinação do manejo adequado como forma de amenizar as perdas na produção e garantir a conservação das propriedades do solo, já que os ecossistemas naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura e os atributos do solo, devido aos processos de ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição de matéria orgânica (Lima et al., 2022b).

Logo, o presente trabalho objetivou avaliar distribuição espacial anisotrópica de atributos químicos do solo em agroecossistemas e floresta nativa em Canutama, sul do Amazonas.

Material e métodos

Ambiente de estudo

O estudo foi realizado no Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama – AM (6°31'50.4"S 64°23'11.6"W), em quatro áreas, três áreas sob cultivos agrícolas de Urucum (*Bixa orellana* L.), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.), Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth) e uma

testemunha com floresta nativa (Floresta tropical ombrófila densa) (Figura 1). A descrição do histórico de uso das áreas sob floresta e sob os agroecossistemas em Canutama-AM encontram-se na Tabela 1.

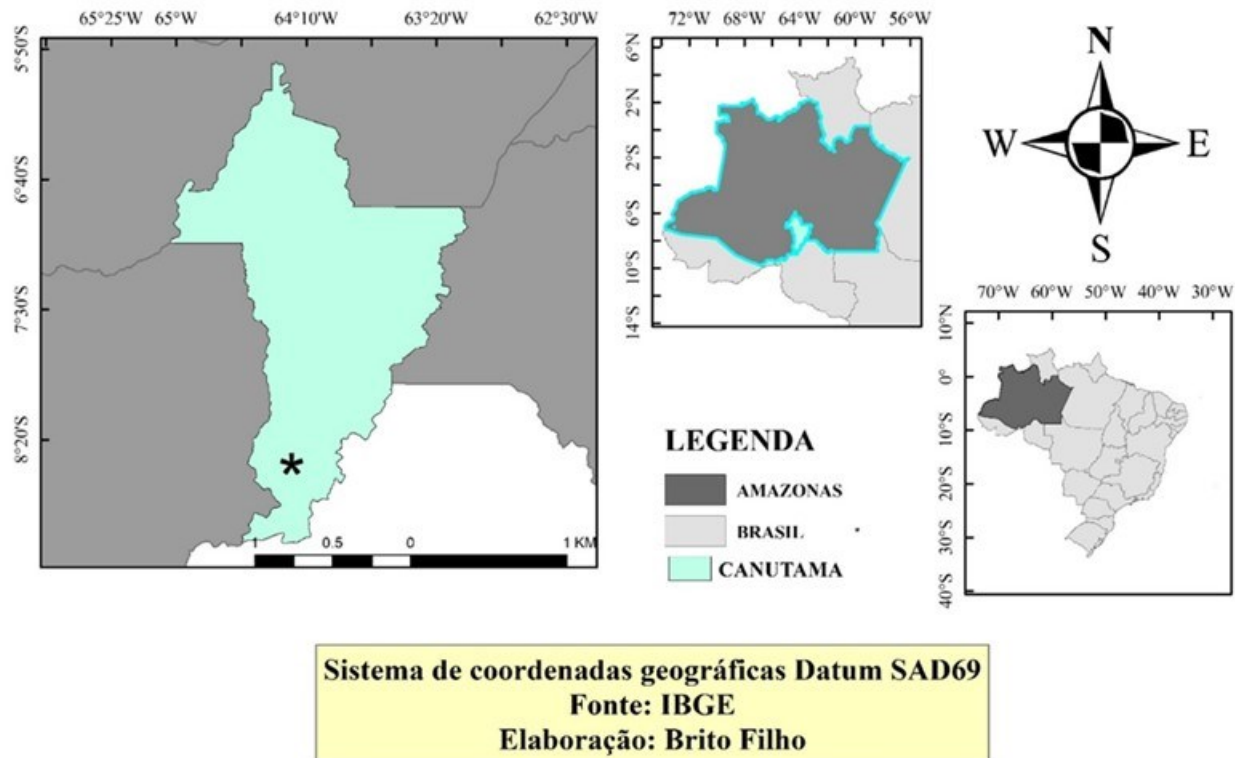


Figura 1: Localização da área de estudo em Canutama, Amazonas. Fonte: Autor, 2022.

Tabela 1. Descrição do histórico de uso em áreas de floresta e agroecossistemas em Canutama, Amazonas.

Uso da Terra	Histórico de Uso
Guaraná (<i>Paullinia cupana</i> Kunth)	Área resultante de derrubada e queimada da floresta, com limpeza manual e retirada de tocos da área no primeiro ano de cultivo. Nunca houve adubação ou calagem nas áreas cultivadas, são utilizados espaçamentos regulares de 5,0 x 5,0 m, com podas e limpezas periódicas para controle de pragas, e está em cultivo efetivo há 7 anos.
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i> Wild. ex Spreng.) Schum.)	Área resultante de derrubada e queimada da floresta, com limpeza manual e retiradas de tocos da área no primeiro ano de cultivo. Nunca houve adubação ou calagem nas áreas cultivadas, são utilizados espaçamentos regulares de 7,0 x 7,0 m, com podas e limpezas periódicas para controle de pragas. Está em cultivo efetivo há 7 anos.
Urucum (<i>Bixa orellana</i> L.)	Área resultante de derrubada e queimada da floresta, com limpeza manual e retirada de tocos da área no primeiro ano de cultivo. Nunca houve adubação ou calagem nas áreas cultivadas, são utilizados espaçamentos regulares de 4,0 x 4,0 m, com podas e limpezas periódicas para controle de pragas. Está em cultivo efetivo há 3 anos.

Floresta

Caracterizada como uma floresta tropical densa, cuja vegetação é perene, composta por árvores densas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura.

Fonte: Autor, 2022.

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Santos et al., 2018), localizado sobre a Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talvegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresenta declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente.

No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (Alvares et al., 2013).

Metodologia de campo e preparo das amostras

A coleta foi realizada estabelecendo malhas amostrais com 80 pontos em cada uma das áreas, as quais medem 0,63 ha com 10 x 10 m de espaçamentos entre pontos para as áreas de guaraná e floresta, 0,50 ha com espaçamento de 10 x 8 m entre pontos para urucum e 0,23 ha com espaçamento de 6 x 6 m entre pontos para o cupuaçu. O solo foi amostrado em profundidade de 0,00-0,2 m, totalizando 320 amostras a serem analisadas. Após coletadas, as amostras em forma de torrões foram secas à sombra, em seguidas destorroadas através de peneiramento em malha de 2 mm de abertura, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) necessárias para proceder às análises químicas em laboratório.

Metodologia de laboratório

O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo: em água (Teixeira et al., 2017). Cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e fósforo (P) disponíveis foram extraídos por resina trocadoras de íons; alumínio (Al^{3+}) trocável foi extraído com KCl a 1 mol L^{-1} e o teor determinado por titulação, usando NaOH 0,025 mol L^{-1} e azul de bromotimol como um indicador

colorimétrico; e a acidez potencial (H^+Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio e determinada a titulação utilizando NaOH 0,025 mol L^{-1} e fenolftaleína como indicador, empregando-se a metodologia proposta pela Embrapa (Teixeira et al., 2017). Com base nos resultados das análises químicas calculou-se a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC), a saturação por bases (V%) e por alumínio (m%). O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método da oxidação via úmida, com aquecimento externo (Yeomans e Bremner, 1988).

Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva, sendo determinados: máximo, mínimo, média, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, e o teste Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$) para verificação da normalidade dos dados. Em seguida, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) para verificar se havia diferença entre as áreas, e ainda quais são estas diferenças ao aplicar o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Em seguida, uma análise geoestatística através de um semivariograma experimental utilizando os pares de coordenadas amostrais, para verificar a existência de dependência espacial através do ajuste de funções teóricas aplicadas à semivariogramas experimentais. Os parâmetros que definem um semivariograma são: Modelo (exponencial, esférico, gaussiano, linear), Alcance (a), Efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C_1$) e Grau de Dependência Espacial (GDE%). O alcance representa o limite da correlação espacial; o efeito pepita representa a variação não correlacionada na amostragem; e o patamar estima a variância do processo aleatório e corresponde à variância máxima dos dados (Oliver e Webster, 2014). O modelo foi escolhido pelo critério de maior coeficiente de determinação (R^2).

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi

utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão $[C_0/(C_0+C_1)]$ for $\leq 25\%$. Se essa razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for $> 75\%$ a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Posteriormente, foi identificada a presença ou não de anisotropia, foram construídos e modelados 4 semivariogramas direcionais (0° , 45° , 90° e 135°) para cada atributo avaliado, com

tolerância angular de $22,5^\circ$ (Isaaks e Srivastava, 1989). O critério de validação cruzada foi usado para escolher o melhor modelo anisotrópico. Após a modelagem foi classificada a anisotropia através dos semivariogramas em: zonal, geométrica ou combinada. Todas as análises geoestatísticas foram aplicadas usando o software Surfer® 17.1 (Golden Software, LLC).

Compreender como ocorre essas anisotropias em áreas cultivadas e sob floresta será crucial para um planejamento de um manejo mais específico e acurado.

Resultados e discussão

A tabela 2 apresenta a análise estatística descritiva demonstrando que os dados possuem uma grande confiabilidade, uma vez que o teste de normalidade foi significativo, médias próximas aos valores máximos e mínimos, bem como assimetria e curtose próximos a zero, parâmetros estatísticos fundamentais no melhor desempenho dos dados a serem utilizados subsequentemente (Lima et al., 2022b).

Em relação ao pH, ele se portou abaixo de 5,0, indicando então solos ácidos, em que o urucum apresentou o maior valor. A origem do pH do solo se deve a diversos fatores, dentre eles o material de origem e interação da camada superficial através da decomposição de material

orgânico que produz compostos ácidos ao solo (Medeiros et al., 2021), no sul do Amazonas o material de origem dará solos mais ácidos (Mendonça et al., 2021), bem como, o adensamento da cultura do urucum, assim como também o desbaste e deposição do material sobre a superfície está contribuindo para a elevação a nível não prejudicial a planta, uma vez que o urucum é originalmente amazônico e, consequente, adaptado às condições do ambiente (Lima et al., 2021), trabalhos avaliando a influência da decomposição da palhada no aumento do pH confirmam tal afirmação (Sales et al., 2022).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo amostrados sob camada de 0,00 – 0,20 m em áreas cultivadas e em floresta no município de Canutama-AM.

Estatística Descritiva	pH	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V	m	P	CO
	H ₂ O	----- cmol _c .dm ⁻³ -----					----- % -----		mg dm ⁻³	g.dm ⁻³	
Cupuaçu											
Mínimo	3,54	3,50	6,35	0,03	0,31	0,09	7,66	4,72	61,53	1,42	6,98
Máximo	4,36	7,33	15,59	0,11	2,29	0,41	16,58	21,89	90,26	5,29	26,99
Média	3,89ab	5,21a	10,29a	0,06c	1,07b	0,21c	11,66a	11,40b	80,39b	3,23d	18,87a
¹ CV%	4,85	13,15	18,09	24,18	40,79	30,67	16,91	32,43	7,14	25,24	21,93
Assimetria	0,42	0,59	0,58	0,78	0,83	0,65	0,46	0,48	-0,72	-0,03	0,01
Curtose	-0,31	0,99	0,31	1,13	0,36	0,23	-0,03	-0,14	0,56	-0,39	0,06
² K-S	0,07*	0,11*	0,11*	0,11*	0,14*	0,13*	0,08*	0,06*	0,09*	0,07*	0,08*

Guaraná											
Mínimo	3,33	3,67	6,27	0,04	0,35	0,12	7,27	6,26	68,35	3,51	7,41
Máximo	4,22	6,57	15,29	0,14	1,55	0,56	16,82	23,32	90,28	8,08	18,69
Média	3,83b	4,96a	10,03ab	0,08b	0,90c	0,30b	11,33a	11,75b	79,62b	5,22c	12,84c
¹ CV%	4,67	12,57	17,9	29,19	27,86	32,69	16,35	28,16	5,69	17,25	20,79
Assimetria	-0,35	0,5	0,44	0,43	0,01	0,37	0,45	0,69	-0,11	0,58	0,32
Curtose	0,33	0,10	-0,01	-0,36	-0,43	-0,23	0,08	0,76	-0,05	0,45	-0,55
² K-S	0,07*	0,11*	0,09*	0,08*	0,08*	0,10*	0,09*	0,07*	0,05*	0,12*	0,07*
Urucum											
Mínimo	3,54	2,57	5,50	0,03	0,64	0,24	7,42	9,55	47,36	2,76	8,32
Máximo	4,47	6,50	13,70	0,20	2,53	0,89	15,25	29,75	85,00	10,66	21,64
Média	3,90a	4,41b	9,43b	0,11a	1,48a	0,49a	11,55a	17,96a	68,53c	6,19b	13,98c
¹ CV%	4,51	17,17	15,85	31,42	25,85	37,62	14,45	23,28	11,44	23,86	21,02
Assimetria	0,61	-0,18	0,05	0,53	0,25	0,72	0,16	0,48	-0,33	0,17	0,64
Curtose	0,87	0,45	0,40	-0,05	-0,27	-0,63	-0,15	0,31	0,14	0,32	0,31
² K-S	0,10*	0,07*	0,08*	0,09*	0,08*	0,15*	0,07*	0,08*	0,08*	0,06*	0,08*
Floresta											
Mínimo	3,20	3,77	8,19	0,05	0,22	0,06	8,85	3,78	70,72	5,33	10,25
Máximo	3,95	6,07	12,88	0,14	1,15	0,43	14,33	13,54	93,20	11,51	24,29
Média	3,69c	5,12a	10,17a	0,09b	0,79c	0,22c	11,28a	9,97c	83,03a	7,67a	15,83b
¹ CV%	4,32	9,05	8,64	22,75	28,78	28,83	8,83	20,41	5,07	16,97	18,61
Assimetria	-0,97	-0,19	0,45	0,49	-0,52	-0,01	0,43	-0,95	0,18	0,66	0,80
Curtose	0,83	0,35	0,86	-0,05	0,08	0,92	0,98	1,27	0,67	0,71	0,76
² K-S	0,11*	0,13*	0,08*	0,10*	0,08*	0,06*	0,09*	0,09*	0,09*	0,08*	0,15*

¹CV%: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; Al³⁺: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial, K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio trocável; Mg²⁺: magnésio trocável; CTC: capacidade de troca de cátion potencial, V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio; P: fósforo; CO: carbono orgânico. Fonte: Autor, 2022.

Potássio, cálcio e magnésio tiveram valores expressamente baixos, sendo seus maiores valores encontrados nas áreas de urucum e guaraná, isso se deve ao fato de que as culturas do guaraná e do

urucum, por se tratar de espécies nativas e rústicas, acabam não tendo tanta exigência deste nutriente (Lima et al., 2021). É possível verificar também que há baixos níveis de cátions trocáveis,

esse fato deve-se principalmente a problemas de relevo combinados com o volume de chuva intenso associado, também a competição com o alumínio pelos sítios de absorção, favorecendo a lixiviação (Sales et al., 2022), além do material de origem desses solos ser mais pobres, boa parte em solo arenítico, que dá origem mais pobres (Fonseca et al., 2021), assim como também, o tempo de uso das áreas sem a reposição de nutrientes através da adubação (Bello et al., 2021).

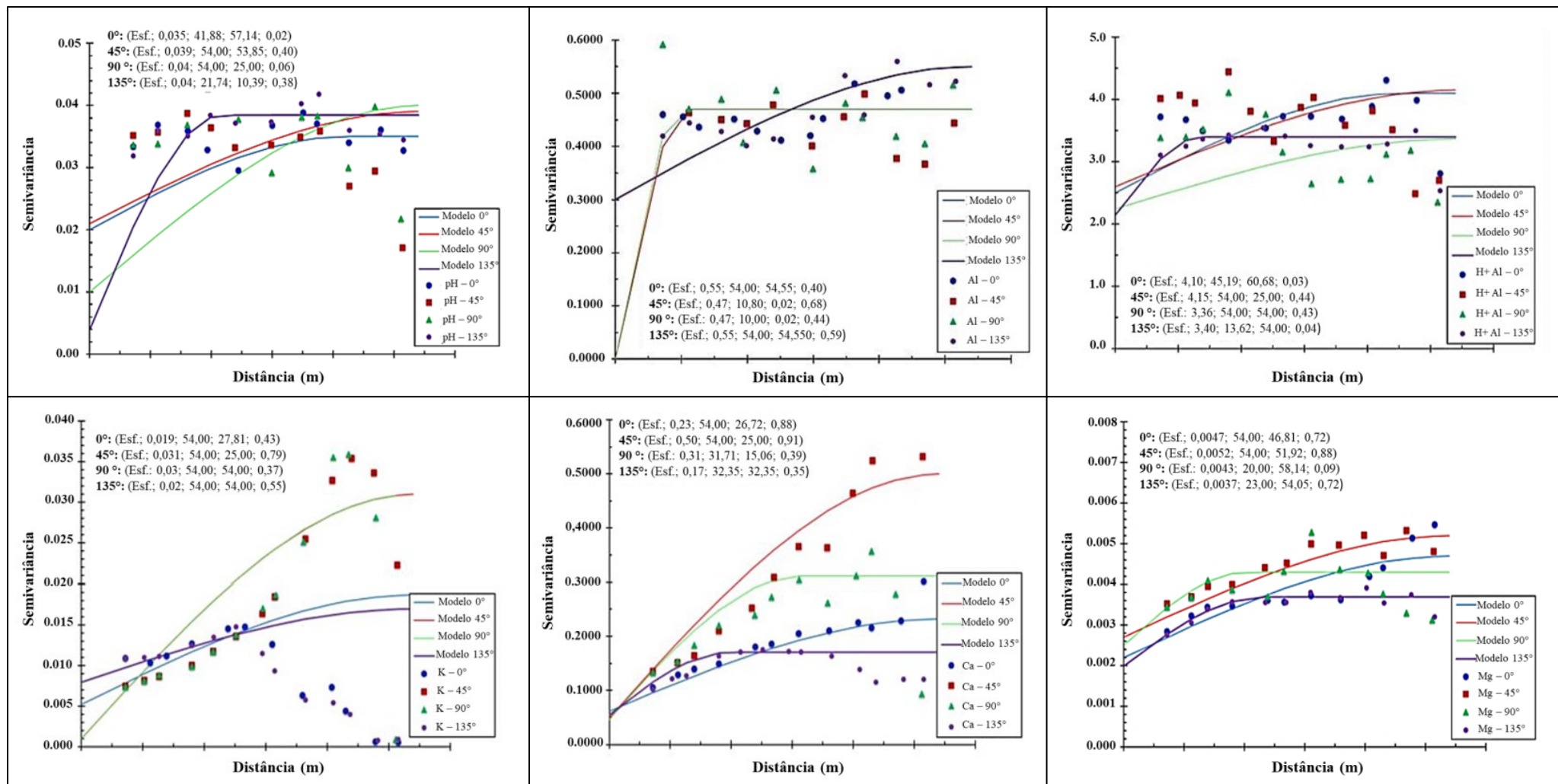
Os valores de fósforo encontrados foram altos em virtude, principalmente, do material de origem dos solos da região associada à baixa mobilidade do fósforo no solo (Fonseca et al., 2021). Vale ressaltar que em estudos realizados por Oliveira et al. (2015) encontraram valores de P elevados para os padrões amazônicos, em áreas de floresta (6,09 mg dm⁻³) e agrofloresta (8,19 mg dm⁻³).

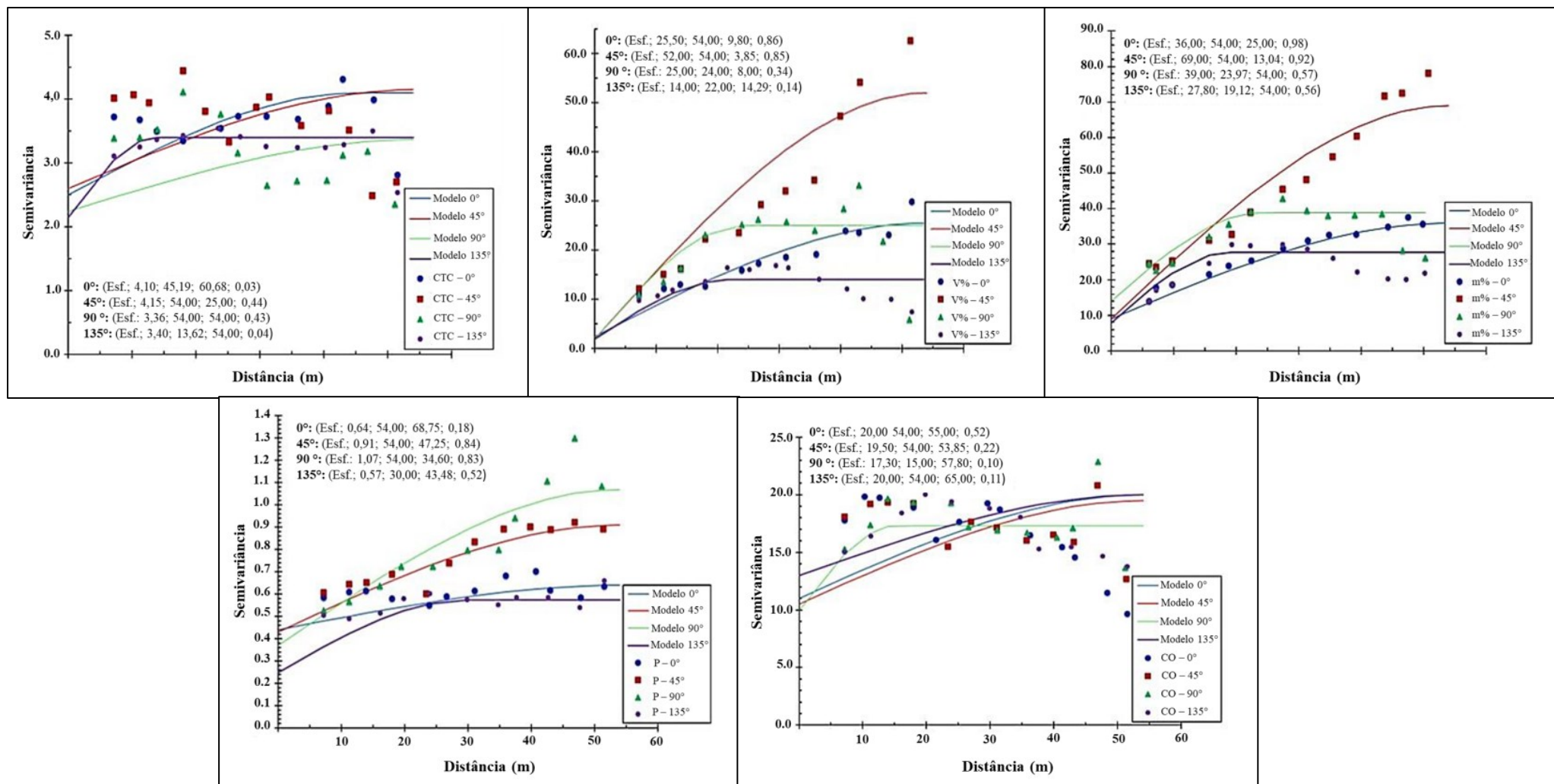
Se tratando do carbono orgânico, esse é de grande importância em ambiente amazônico, pois além de auxiliar em atributos físico-hídricos ele é

um grande indicativo de qualidade do solo (Enck et al., 2022), pois ao ser convertido para matéria orgânica é possível realizar e explicar alguns comportamentos dos atributos químicos do solo, dentre eles o pH e CTC (Jordão et al., 2021).

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são demonstrados semivariogramas direcionais esses descrevem a relação entre a variabilidade das amostras em função da distância entre elas, buscando demonstrar uma dependência espacial, quando há, bem como testar o nível de dependência de acordo com aumento da distância. Segundo Brito et al. (2022) o variograma representa o comportamento espacial de um atributo local ou de seus resíduos, podendo indicar anisotropias, descontinuidades e zonas de influência da variável analisada. Algumas pesquisas já vêm demonstrando uma certa dependência espacial dos atributos do solo, principalmente quando são levantamentos mais detalhados (Lima et al., 2022c).

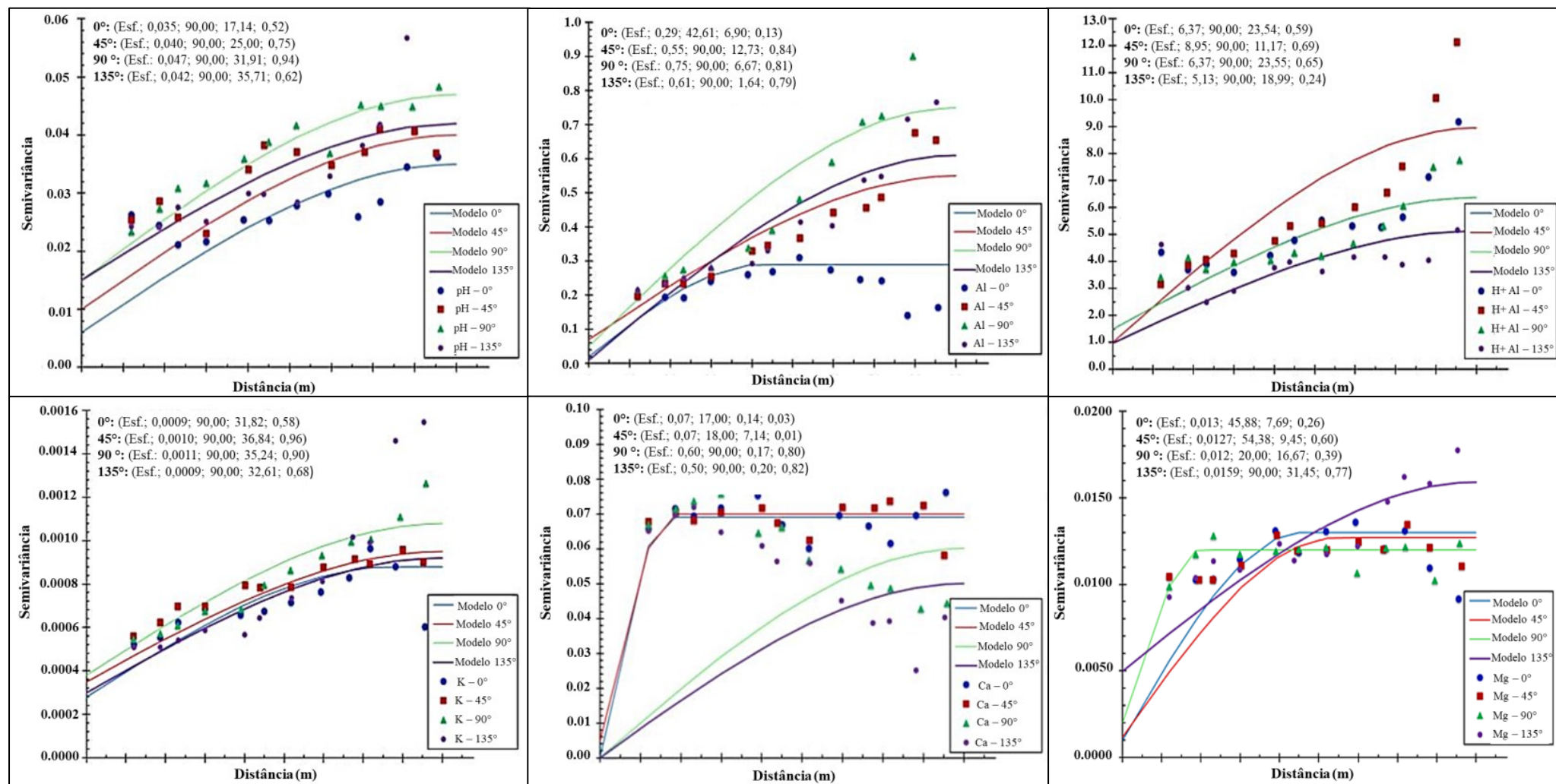
Figura 2. Semivariogramas dos atributos químicos de Cupuaçu, nas direções de 0°, 45°, 90° e 135°. Fonte: Autor, 2022.

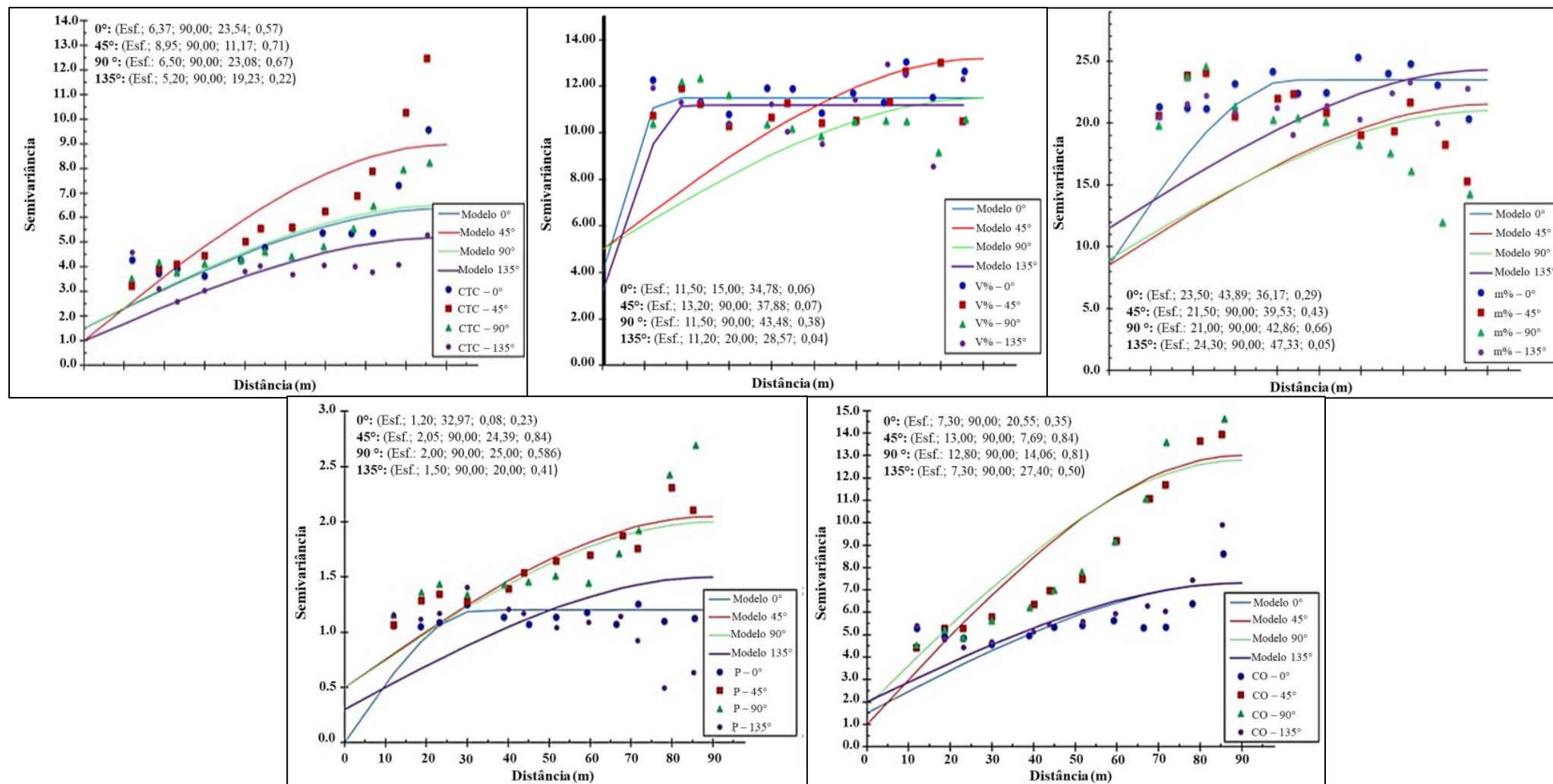




Esf.: Esférico; Parâmetros geoestatísticos entre parênteses são respectivamente: C_0+C_1 : Patamar; $a(m)$: Alcance; $GDE(\%)$: Grau de dependência espacial; R^2 : Coeficiente de determinação.

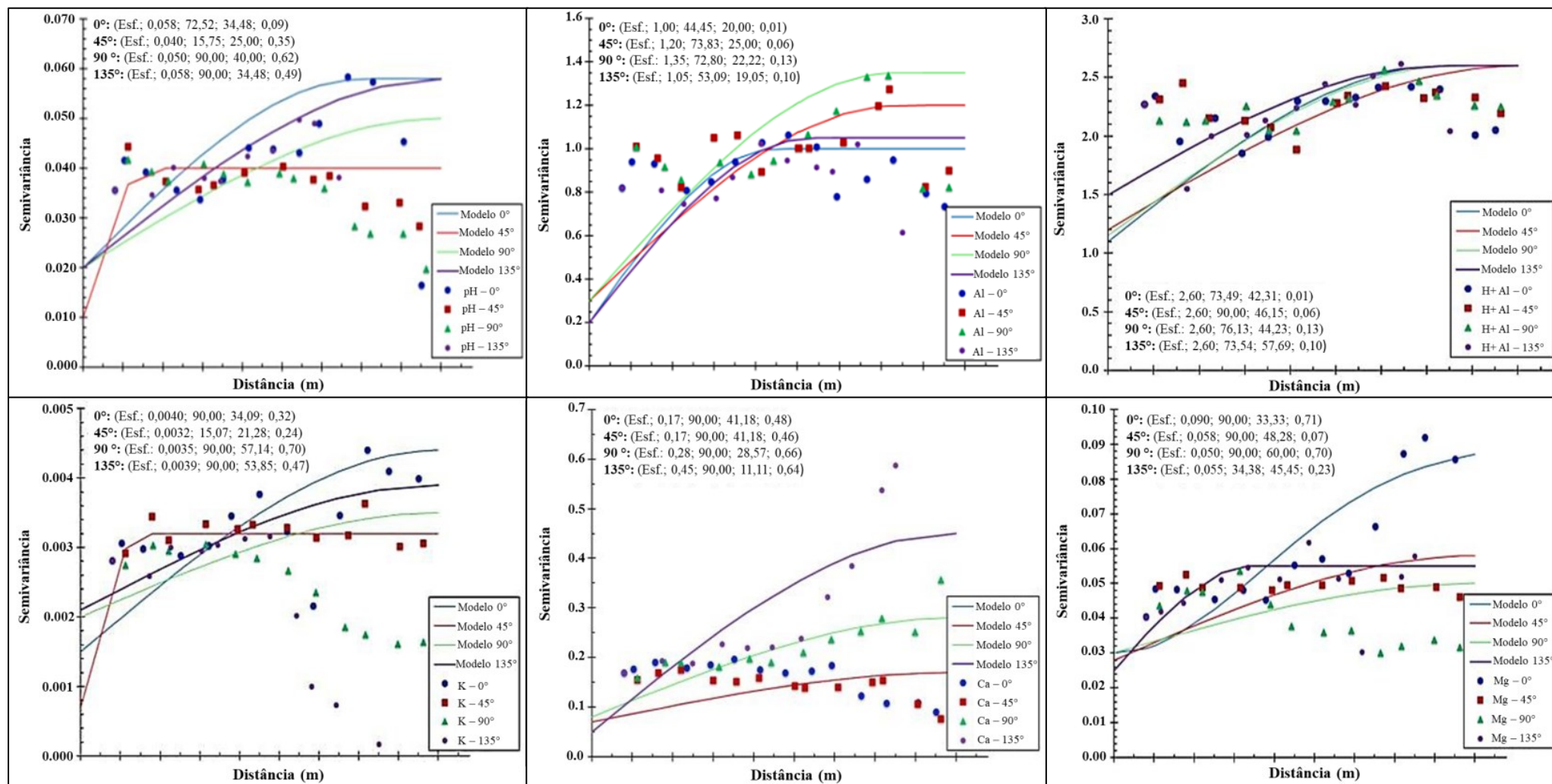
Figura 3. Semivariogramas dos atributos químicos de Guaraná, nas direções de 0°, 45°, 90° e 135°. Fonte: Autor, 2022.

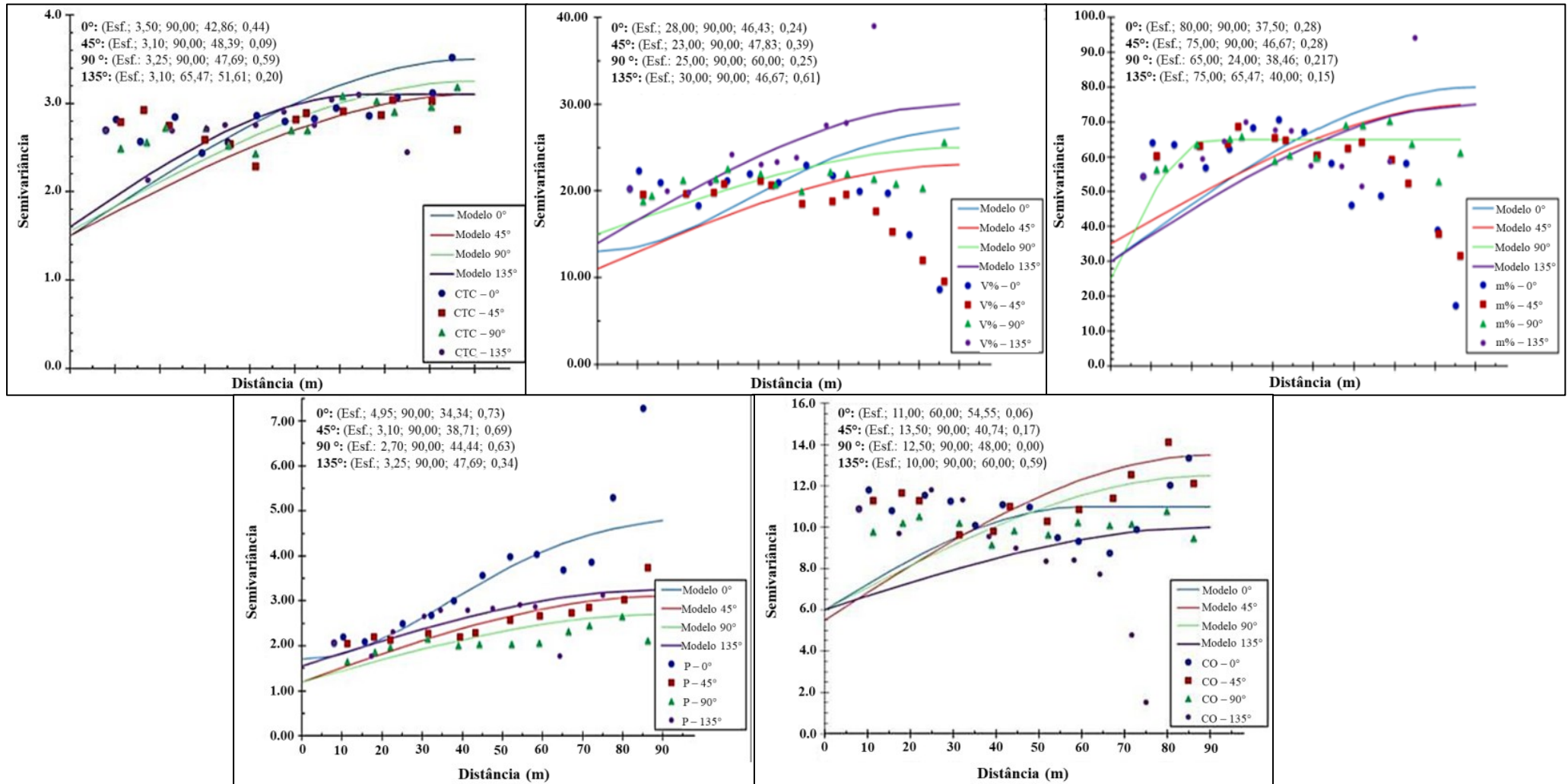




Esf.: Esférico; Parâmetros geoestatísticos entre parênteses são respectivamente: C_0+C_1 : Patamar; $a(m)$: Alcance; $GDE(\%)$: Grau de dependência espacial; R^2 : Coeficiente de determinação.

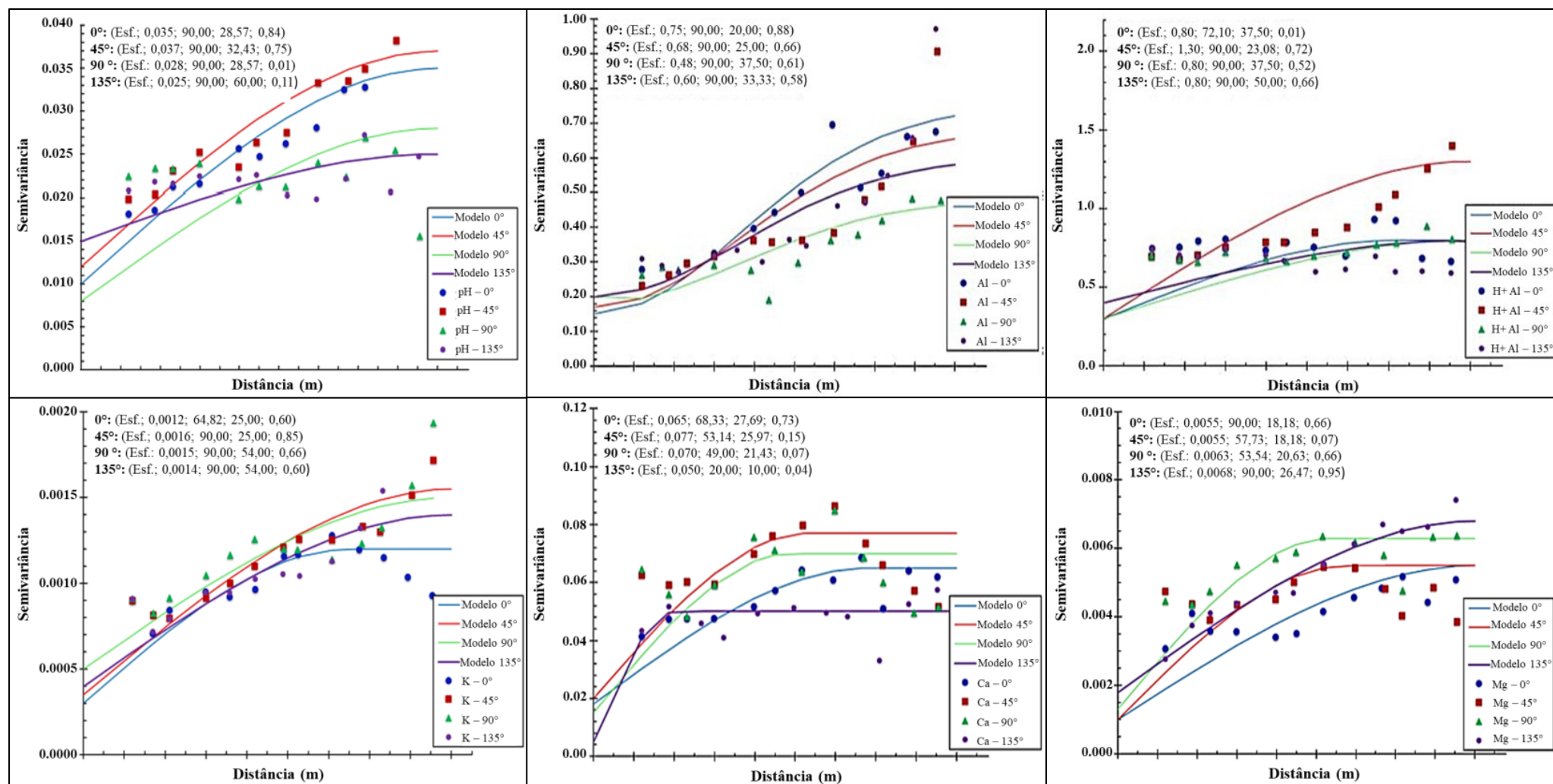
Figura 4. Semivariogramas dos atributos químicos de Urucum, nas direções de 0°, 45°, 90° e 135°. Fonte: Autor, 2022.

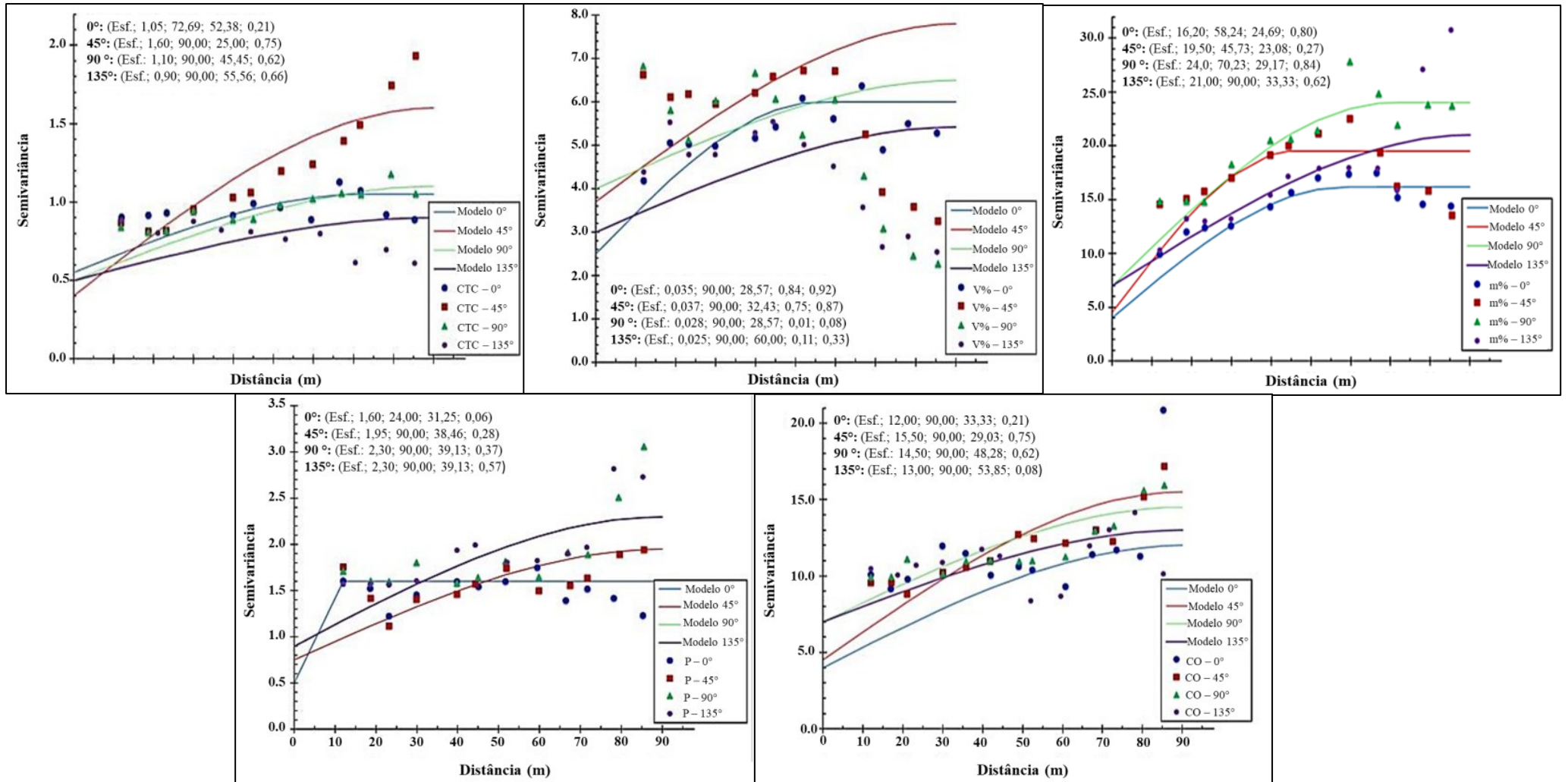




Esf.: Esférico; Parâmetros geoestatísticos entre parênteses são respectivamente: C_0+C_1 : Patamar; $a(m)$: Alcance; GDE(%): Grau de dependência espacial; R^2 : Coeficiente de determinação. .

Figura 5. Semivariogramas dos atributos químicos de Floresta, nas direções de 0°, 45°, 90° e 135°. Fonte: Autor, 2022.





Esf.: Esférico; Parâmetros geostatísticos entre parênteses são respectivamente: C_0+C_1 : Patamar; $a(m)$: Alcance; GDE(%): Grau de dependência espacial; R^2 : Coeficiente de determinação.

Pelos semivariogramas, é possível chegar então às classificações anisotrópicas, sendo classificadas em: geométrica, zonal e combinada. A anisotropia geométrica é aquela em que existe uma direção com maior continuidade espacial, isto é, maior valor de alcance (a) no semivariograma experimental em determinada direção; a anisotropia zonal ocorre quando existe uma direção com maior valor de patamar (C_0+C_1) nos semivariogramas experimentais em relação às demais direções; e a anisotropia combinada, quando houver determinadas direções com diferentes valores de alcance e patamar nos semivariogramas experimentais (Lima et al., 2022a).

Dessa forma, observou-se a presença anisotropia geométrica em todas as direções de H+Al de urucum e em 45° e 90° de Al³⁺ de cupuaçu, de anisotropia zonal para os atributos: pH, Al³⁺, H+Al, V% e CO de floresta, V% e P de urucum, pH e CTC de guaraná em todas as direções. Na área de guaraná direção de 45° e 135° em H+Al e em 45° e 90° de K + e CO, e em urucum 90° e 135° em Ca²⁺, os demais atributos e ângulos apresentaram a anisotropia combinada.

Para a escolha dos modelos de semivariogramas foram considerados os valores do coeficiente de determinação (R^2), para melhores ajustes dos atributos. O modelo que mais se adequou dentro desse ângulo foi o esférico, sendo esse e o exponencial o que mais são utilizados e explicam variáveis do solo (Brito et al., 2022).

Considerando o ângulo mais representativo nos parâmetros anisotrópicos, em termos de alcance em metros, os menores valores foram para a área de cupuaçu, esse parâmetro é importante, pois indica a distância limite para a dependência espacial de cada atributo, com isso evidencia uma descontinuidade maior dentro desse ambiente e uma possível variabilidade maior (Lima et al., 2022c).

O grau de dependência espacial pela classificação de Cambardella et al. (1994) se portou em forte e moderada, mostrando que os atributos estudados apresentam uma boa correlação e dependência entre si (Lima et al., 2022b). Dentre as áreas e as direções pode ser evidenciado a de guaraná e 45° respectivamente, que apresentou uma predominância de GDE forte, podendo inferir que as variabilidades destas situações são controladas por fatores intrínsecos,

como textura e mineralogia, diferentes das outras áreas e direções que indicaram uma variação causada geralmente por fatores extrínsecos (Lima et al., 2021).

Conclusões

A análise dos atributos demonstrou uma grande dependência química dos solos amazônicos relacionados à dinâmica do carbono do solo, tendendo a ser um grande indicador de qualidade nesses ambientes.

O ângulo de 45° dentre os quatro estudados na anisotropia foi o mais representativo, sendo em sua maioria tendendo a anisotropia geométrica, devendo ser considerado para um manejo mais eficiente dos atributos.

Os atributos pela análise do alcance e dependência espacial demonstrou que são sensíveis de alterações pelo manejo e possuem uma moderada variabilidade dentro dos ambientes.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pela bolsa concedida.

Referências

- Alvares; C.A., Stape; J.L., Sentelhas; P.C., Gonçalves; J.D.M., Sparovek; G.K., 2013. Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728.
- Araújo, W.O., Alvares, A.E.S., Emerick, H.F., Cruz, S.N., Oliveira, M.V., Silva, C.D.T., Almeida, W. S., Campos, M.C.C., Freitas, L., Oliveira, I.A., 2022. Impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. *Research, society and development*, 11, e284111537170-13.
- Bello, O.C., Cunha, J.M., Campos, M.C.C., Brito Filho, E.G., Pereira, M.G., Silva, G.A., Simões, W.S., Santos, L.A.C., 2021. Radicular biomass and organic carbon of the soil in forest formations in the southern Amazonian mesoregion. *Revista Árvore*, 45, 1-10.
- Brito, W.B.M., Campos, M.C.C., Souza, F.G., Silva, L.S., Cunha, J.M., Lima, A.F.L., Martins, T.S., Oliveira, F.P., Oliveira, I.A., 2022. Spatial patterns of magnetic susceptibility optimized by anisotropic

- correction in different Alisols in southern Amazonas, Brazil. *Precision Agriculture*, 23, 419-449.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1501-1511.
- Enck, B.F., Campos, M.C.C., Pereira, M.G., Souza, F.G., Santos, O.A.Q., Diniz, Y.V.F.G., Martins, T.S., Cunha, J.M., Lima, A.F.L., Souza, T.A.F., 2022. Forest-Fructiculture Conversion Alters Soil Traits and Soil Organic Matter Compartments. *Plants*, 11, 2917-2930.
- Fonseca, J.S., Campos, M.C.C., Brito Filho, E.G., Mantovanelli, B.C., Silva, L.S., Lima, A.F.L., Cunha, J.M., Simões, E.L., Santos, L.A.C., 2021. Soil-landscape relationship in a sandstone-gneiss topolithosequence in the State of Amazonas, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 80, 713-728.
- Golden Software, LLC. 809 14th Street, Golden, Colorado 80401, U.S.A
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press.
- Jordão, H.W.C., Campos, M.C.C., Mantovanelli, B.C., Frozzi, J.C., Cunha, J.M., Chechi, L., Fonseca, J.S., 2021. Attributes of pedoindicator soils in areas cultivated with typical crops in the Western Amazon, Brazil. *Bioscience Journal*, 36, 97-108.
- Lima, A.F.L., Campos, M.C.C., Martins, T.S., Brito Filho, E.G., Cunha, J.M., Souza, F.G., Santos, E.A.N., 2021. Soil attributes and root distribution in areas under forest conversion to cultivated environments in south Amazonas, Brazil. *Bragantia*, 80, 1-17.
- Lima, A.F.L., Campos, M.C.C., Enck, B.F., Simões, W.S., Araújo, R.M., Santos, L.A.C., Cunha, J.M., 2022b. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 34-43.
- Lima, A.F.L., Campos, M.C.C., Martins, T.S., Silva, G.A., Brito, W.B.M., Santos, L.A.C., Oliveira, I.A., Cunha, J.M., 2022a. Soil chemical attributes in areas under conversion from forest to pasture in southern Brazilian Amazon. *Scientific Reports*, 12, 22555.
- Lima, A.F.L., Cunha, J.M., Campos, M.C.C., Martins, T.S., Brito, W.B.M., Brito Filho, E.G., 2022c. Influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica em Novo Aripuanã, AM. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23, 1548-1567.
- Medeiros, S.D.S., Soares, A.A., Ferreira, P.A., De Souza, J.A., Souza, J.A.D., Matos, A.T.D., 2021. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 268-273.
- Mendonça, L.H.R., Campos, M.C.C., Araújo, R. M., Brito Filho, E.G., Lima, A.F.L., Souza, F.G., Cunha, J.M., Moura, V., 2021. Interação dos atributos químicos do solo em área com floresta natural e com plantio de laranja (*Citrus sinensis* L. Osb.). *Revista brasileira de geografia física*, 14, 3331-3340.
- Noetzold, R., Silva, L.M., Schoninger, E.L., Tomé, P.C.D., Alves, M. C., 2018. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras. *Revista Brasileira de Geomática*, 6, 328-345.
- Oliveira, I.A., Campos, M.C.C., Freitas, L., Soares, M.D.R., 2015. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazônica*, 45, 1-12.
- Oliver, M.A., Webster, R., 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, 56-69.
- Sales, M.C.G., Brito Filho, E.G., Campos, M.C.C., Relvas, C.H.G., Santos, L.A.C., Gomes, M.M., Cunha, J.M., Oliveira, F.P., Almeida, R.G., 2022. Seasonality, soil attributes and root biomass in cerrado, cerradão and forest environments, Western Amazon. *Bioscience Journal*, 38, 1-15.
- Santos, H.G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberas, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, p.356.
- Santos, T.O., Fracetto, F.J.C., Souza Jr, V.S., Araújo Filho, J.C., Lira Júnior, M.A., Mendes Jr, J.P., Siqueira Neto, M., Silva, Y.R.P., Barros, F.M.R., Fracetto, G.G.M., 2021. Carbon and nitrogen stocks and microbial indicators in tropical semiarid degraded Luvisols. *Catena*, 210.
- Silva, J.J.C., Campos, M.C.C., Brito Filho, E.G., Brito, W.B.M., Leite, A. F. L., Simões, E.L.,

- Cunha, J.M., Oliveira, F.P., 2021. Impact of different crops on the spatial variability of the chemical attributes of Indian black earth in Southern Amazonas. *Bragantia*, 80, 1-14.
- Teixeira; P.C., Donagemma; G.K., Fontana; A., Teixeira; W.G., 2017. Manual de métodos de análise de solos. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 3, 573.
- Yeomans, J.C., Bremner, J.M., 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 19, 1467-1476.