

ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DOS ERROS DE COORDENADAS PARA O CÁLCULO DA ÁREA ¹

ANALYSIS OF COORDINATE ERROR PROPAGATION FOR AREA CALCULATION

Felipe Augusto de Oliveira²

Wimerson Sanches Bazan³

RESUMO: O desvio padrão da área calculada durante o processo de georreferenciamento de uma propriedade rural é de suma importância para o conhecimento da precisão dessa grandeza. No entanto, esta estimativa não é exigida pelo Manual Técnico de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA, mesmo sabendo que as coordenadas dos vértices delimitadores de uma propriedade possuem erros, os quais são propagados para o valor de área calculado. Na prática, as coordenadas dos vértices recebidas pelo INCRA devem estar referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (φ , λ , h) ou ainda ao Sistema UTM (N , E , h), sendo posteriormente convertidas para o Sistema Cartesiano Geocêntrico (X , Y , Z) e, por fim, para o Sistema Cartesiano Local (e , n , u), desprezando-se a propagação dos erros das coordenadas para o valor de área calculado pelo método de Gauss. Diante do exposto, este estudo tem por objetivo avaliar a significância dos erros das coordenadas dos vértices quando propagados para o cálculo da área, visto que a variação máxima admitida pela Lei nº 10.406/2002 é de 5% da área total da parcela. Observou-se que, na medida em que a geometria da parcela aumenta, a proporção do erro em relação ao valor da área calculado não mantém a linearidade, sendo sua magnitude mais significativa para áreas menores. Entretanto, destaca-se que pelos experimentos realizados nenhum caso avaliado ultrapassou o limite de 5%.

Palavras-chave: Propagação de variância-covariância; Transformação de coordenadas; Lei geral da propagação de covariâncias.

ABSTRACT: The standard deviation of the area calculated during the georeferencing process of a rural property is of utmost importance for understanding the accuracy of this measurement. However, this estimate is not required by the Technical Manual for Georeferencing of Rural Properties by INCRA, even though the coordinates of the boundary vertices of a property have errors that propagate to the calculated area value. In practice, the coordinates of the vertices received by INCRA must be referenced to the Brazilian Geodetic System (φ , λ , h) or the UTM projection (N , E , h), and subsequently converted to the Geocentric Cartesian Coordinate System (X , Y , Z) and finally to the Local Cartesian Coordinate System (e , n , u), disregarding the propagation of coordinate errors to the area value calculated by the Gauss method. Given the above, this study aims to evaluate the significance of the vertex coordinate errors when propagated to the area calculation, considering that the maximum variation allowed by Law No. 10,406/2002 is 5% of the total parcel area. It was observed that as the geometry of the parcel increases, the proportion of error relative to the calculated area value does not maintain linearity, with its magnitude being more significant for smaller areas. However, it is noteworthy that none of the evaluated cases exceeded the 5% limit in the experiments conducted.

Keywords: Variance-covariance propagation; Coordinate transformation; General law of covariance propagation.

¹ Trabalho Final do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos do Ifes Campus Vitória.

² Engenheiro Ambiental, Engenheiro de Segurança do Trabalho e Pós-graduando em Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos no Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: felipeaugusto_86@hotmail.com.

³ Orientador; Doutorando no PPGCC da UNESP, professor do Instituto Federal do Espírito Santo. E-mail: wimerson.bazan@ifes.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

As medições conduzidas pelo ser humano, se caracterizam pela inevitável presença de erros. Conseqüentemente, há necessidade de se abdicar da pretensão de obter valores verdadeiros, ou exatos, para as grandezas observadas e buscar valores mais prováveis para tais grandezas, bem como estimar a precisão destes valores. Assim, a descrição georreferenciada de um lugar deve ser feita com um nível de confiabilidade estatisticamente comprovado.

Os critérios para execução dos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais e certificação estão definidas no Manual Técnico de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). No entanto, o manual não incorpora determinados requisitos necessários para melhor qualificar a medição considerando os diferentes métodos de posicionamento que podem ser utilizados para definir os limites dos imóveis rurais estabelecida pela Lei nº 10.267/2001 (INCRA, 2001).

Brandão (2003), destaca que a determinação da qualidade métrica do cálculo da área do imóvel considerando a propagação dos erros das coordenadas é um dos requisitos que não foi considerado pelo referido manual, visto que para cálculo da área necessita-se realizar a transformação de coordenadas geodésicas (φ , λ , h) ou UTM para coordenadas cartesianas geocêntricas (X , Y , Z) e, posteriormente, para coordenadas cartesianas locais (e , n , u) (INCRA, 2022), desprezando-se a propagação da variância e covariância.

Segundo Aguiar, Camargo e Galo (2002, p. 2), associado à transformação de coordenadas e de Datum tem-se a questão da propagação de covariância, que permite obter a matriz variância-covariância das coordenadas transformadas, no Datum desejado. Ainda, segundo estes autores, através da propagação de covariâncias pode-se obter as características estocásticas das variáveis funcionalmente dependentes, conhecendo as características das variáveis independentes e a relação funcional entre os dois conjuntos de variáveis.

No caso de venda de imóvel por extensão, admite-se, em regra, uma variação de área de até 1/20 (um vigésimo), ou seja, 5% conforme disposto no parágrafo 1º, art. 500º da Lei nº 10.406, de 10 janeiro de 2002 (BRASIL, 2002).

Sendo, assim, é de fundamental importância determinar a variação de área em função da qualidade posicional de cada vértice da parcela levantada. De acordo com Ghilani e Wolf (2013), conhecendo-se as precisões das coordenadas dos vértices é possível calcular a incerteza da área empregando-se a lei geral da propagação de variâncias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar se a propagação dos erros das coordenadas para o cálculo da área do imóvel é significativa, ou seja, se ultrapassam o erro máximo admissível de um vigésimo ou de 5% na determinação da área de um imóvel, conforme estabelecido no art. 500 da Lei 10.406, de 10 janeiro de 2002.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar a transformação de coordenadas com propagação de variâncias;
- b) Simular o comportamento da propagação de erros em função do aumento de área avaliada;
- c) Simular a influência da combinação das precisões de diferentes tipos de vértices estabelecidas no manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais sobre o cálculo de área;
- d) Avaliar a propagação dos erros das coordenadas para o cálculo de área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Aguiar; Camargo; Galo (2002), os sistemas de referência são utilizados para descrever de modo unívoco as posições de objetos. Em atividades ligadas às ciências cartográficas, onde há necessidade de georreferenciamento, quando é necessário definir a posição de um determinado objeto na superfície da terra são utilizados os Sistemas de Referência Geodésicos. Além dos Sistemas de Referência Geodésicos,

as informações posicionais podem ser apresentadas em um sistema de coordenadas plano, associados a uma determinada projeção cartográfica.

Até o ano de 2005, o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) utilizavam, oficialmente, os sistemas South American Datum 1969 (SAD69) e Córrego Alegre. Com a publicação da Resolução da Presidência nº 1/2005, estabeleceu-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000) como novo Sistema de Referência Geodésico, cujo período de transição durou 10 anos. A partir de 25 de fevereiro de 2015, passou-se a adotar exclusivamente o SIRGAS 2000 em todo território nacional (IBGE, 2015).

Portanto, independente das coordenadas desejadas e do Datum especificado, frequentemente existe a necessidade de realizar transformações de coordenadas e de Datum. Aguiar; Camargo; Galo (2002), apresentam um modelo matemático, detalhado, para transformação de coordenadas e propagação de variância-covariância, ou simplesmente a propagação de covariância para as coordenadas desejadas.

Conforme disposto na 2ª edição do Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais o cálculo de área deve ser realizado com base nas coordenadas cartesianas locais referenciadas ao Sistema Geodésico Local (SGL) (INCRA, 2022). Segundo Júnior et al. (2017), é importante deixar claro que o cálculo de área é realizado automaticamente pelo SIGEF, a partir da conversão das coordenadas geodésicas informadas à priori pelo responsável técnico, para coordenadas cartesianas locais e, posteriormente, aplicando-se a fórmula de Gauss (Equação 1) para o cálculo da área (A) propriamente dito.

$$A = \frac{1}{2} (\sum_{i=1}^n Y_i X_{i+1} - \sum_{i=1}^n X_i Y_{i+1}) \quad (1)$$

Sendo Y_i e X_i , coordenadas dos pontos, n a quantidade de vértices do polígono e quando $i = n$ o vértice $i + 1$ coincidente com o vértice 1, caracterizando assim um polígono fechado.

É importante destacar que, a qualidade posicional da medição de uma parcela rural deve satisfazer não apenas o disposto no item 1.4.4 do Manual Técnico para o

Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2022), mas também, o Código Civil brasileiro, que estabeleceu um erro máximo de 5% na determinação da área de um imóvel nos contratos de compra e venda (BRASIL, 2002).

Para verificar o erro máximo admissível de um vigésimo ou de 5% na determinação da área de um imóvel, pode-se utilizar a lei geral da propagação de variâncias (Equação 2). Normalmente, em topografia esta fórmula matemática pode ser simplificada, uma vez que as observações são, geralmente, matematicamente independentes (GHILANI; WOLF, 2013).

$$\sigma(f) = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \cdot \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \cdot \sigma_{x_n}^2} \quad (2)$$

Onde os termos $\partial f / \partial x_1, \partial f / \partial x_2, \dots, \partial f / \partial x_n$ são as derivadas parciais da função f em relação às variáveis x_1, x_2, \dots, x_n e $\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \dots, \sigma_{x_n}$ o desvio padrão das variáveis, respectivamente.

De acordo com Jansson e Persson (2014), derivando a fórmula de Gauss em relação as coordenadas y_i e x_i , chega-se as equações 3 e 4.

$$\left(\frac{\partial A}{\partial x_i}\right)^2 = \frac{1}{4} (y_{i+1} - y_{i-1})^2 \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial A}{\partial y_i}\right)^2 = \frac{1}{4} (x_{i+1} - x_{i-1})^2 \quad (4)$$

Substituindo as equações 3 e 4 na equação da lei geral da propagação de variâncias, tem-se:

$$\sigma(A) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial A}{\partial y_i}\right)^2 \cdot \sigma_{y_i}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial x_i}\right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \right]} =$$

$$\sigma(A) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^n [(x_{i+1} - x_{i-1})^2 \cdot \sigma_{y_i}^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2 \cdot \sigma_{x_i}^2]} \quad (5)$$

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se dados de parcelas certificadas pelo INCRA e disponibilizadas através do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). Os dados foram manipulados com auxílio dos softwares QGIS, versão 3.28.10, TCD, versão 2, Matlab, versão 2015, e TextPad, versão 8.12.0.

As coordenadas das parcelas baixadas no SIGEF foram utilizadas como dados de entrada para avaliar a transformação de coordenadas com propagação de variância covariância e simular o comportamento da propagação de erros em função do aumento de área avaliada, bem como avaliar a propagação dos erros das coordenadas para o cálculo de área.

Para simular a influência da combinação das precisões de diferentes tipos de vértices sobre o cálculo de área, e assim atender o objetivo específico definido no item “c”, gerou-se uma poligonal com 5 vértices georreferenciados no software QGIS. Na primeira simulação (T-1) considerou-se todos os vértices situados em limites artificiais, na segunda (T-2) 4 vértices situados em limites artificiais e 1 vértices situados em limites naturais e para finalizar (T-3) 3 vértices situados em limites artificiais, 1 vértices situados em limites naturais e 1 vértices situados em limites inacessíveis.

Lembrando que, a precisão posicional (σ_P) e o desvio padrão (σ_ϕ , σ_λ) para vértices definidores de limites são (INCRA, 2022):

- Vértices em limites artificiais: $\sigma_P - 0,5 \text{ m}$, $\sigma_\phi - 0,3535 \text{ m}$ e $\sigma_\lambda - 0,3535 \text{ m}$;
- Vértices em limites naturais: $\sigma_P - 3,0 \text{ m}$, $\sigma_\phi - 2,1213 \text{ m}$ e $\sigma_\lambda - 2,1213 \text{ m}$;
- Vértices em limites inacessíveis: $\sigma_P - 0,5 \text{ m}$, $\sigma_\phi - 5,3033 \text{ m}$ e $\sigma_\lambda - 5,3033 \text{ m}$;

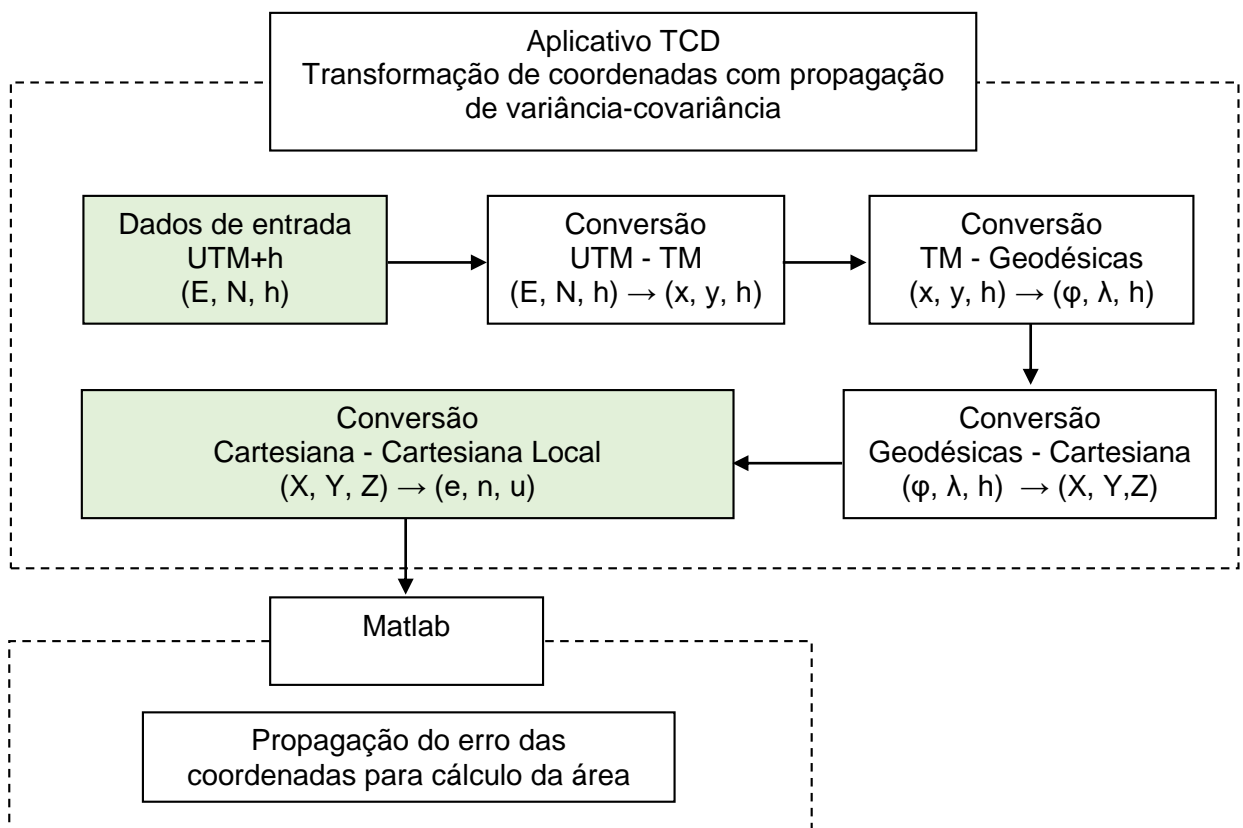
Considerando-se que, os desvios padrão das coordenadas disponibilizadas no SIGEF são fornecidos em unidade métrica, associado a Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, adotou-se esta projeção para os dados de entrada do aplicativo TCD, utilizado para a transformação de coordenadas com a propagação de variância-covariância. Os modelos matemáticos utilizados na transformação de coordenadas pelo aplicativo TCD são descritos por Aguiar, Camargo e Galo (2002).

Segundo INCRA (2022), o cálculo de área deve ser realizado com base nas coordenadas referenciadas ao Sistema Geodésico Local (SGL), assim, as coordenadas UTM (E, N, h) foram transformadas para coordenadas cartesianas locais (e, n, u), com os respectivos desvios padrão.

A rotina de programação para propagação dos erros das coordenadas para o cálculo da área foi desenvolvida no software Matlab com base na formulação matemática proposta por Jansson e Persson (2014). Apesar de existirem outras fórmulas matemáticas para determinação da área de uma poligonal, ex.: Método de Bezout, Método de Poncelet e Método de Simpson, adotou-se o modelo baseado na fórmula de Gauss pois o Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais recomenda o uso desta fórmula para cálculo da área.

Na Figura 1, é apresentado um fluxograma da rotina de transformação de coordenadas com propagação de variância-covariância e propagação do erro das coordenadas para o cálculo da área.

Figura 1 - Fluxograma mostrando a rotina de transformação e cálculo.



Fonte: Adaptado de Aguiar, Camargo e Galo (2002, p. 4).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A parcela de código nº aeec3e96-3a6e-4da8-8f7b-7d3ffa53286f, consultada no SIGEF, possui área igual a 22.003 m² e as coordenadas UTM com os respectivos desvios padrão são mostradas na Tabela 1. O resultado da transformação das coordenadas UTM (E, N, h) para coordenadas cartesianas locais (e, n, u) com propagação de variância covariância, através do aplicativo TCD, pode ser visto na

A transformação de coordenadas com propagação de variância covariância não muda o vetor da precisão, ou seja, não altera o valor dos desvios padrão conforme pode ser visto na Tabela 2. Conseqüentemente, o modelo matemático de transformação não soma erros à observação, sendo, portanto, válido.

Tabela 1 – Coordenadas UTM da parcela consultada no SIGEF com os respectivos desvios padrão.

Vértice	E (m)	N (m)	h (m)	σ_N (m)	σ_E (m)
1	363970,52	7799840,98	71,04	0,17	0,15
2	363880,51	7799701,37	67,52	0,04	0,02
3	363874,04	7799702,05	67,41	0,05	0,03
4	363870,14	7799699,82	66,91	0,06	0,03
5	363739,24	7799667,57	47,81	0,04	0,02
6	363739,17	7799672,01	48,07	0,07	0,04
7	363743,10	7799687,69	49,48	0,05	0,02
8	363749,90	7799706,57	51,21	0,04	0,02
9	363765,75	7799750,84	54,45	0,04	0,02
10	363772,48	7799763,79	54,90	0,04	0,02
11	363783,22	7799779,81	56,50	0,04	0,02
12	363790,04	7799790,03	57,64	0,04	0,02
13	363800,45	7799812,67	58,90	0,05	0,02
14	363808,78	7799832,44	60,96	0,05	0,02

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A transformação de coordenadas com propagação de variância covariância não muda o vetor da precisão, ou seja, não altera o valor dos desvios padrão conforme pode ser visto na Tabela 2. Conseqüentemente, o modelo matemático de transformação não soma erros à observação, sendo, portanto, válido.

Tabela 2 – Coordenadas transformadas para o sistema cartesiano local no aplicativo TCD com propagação de variância.

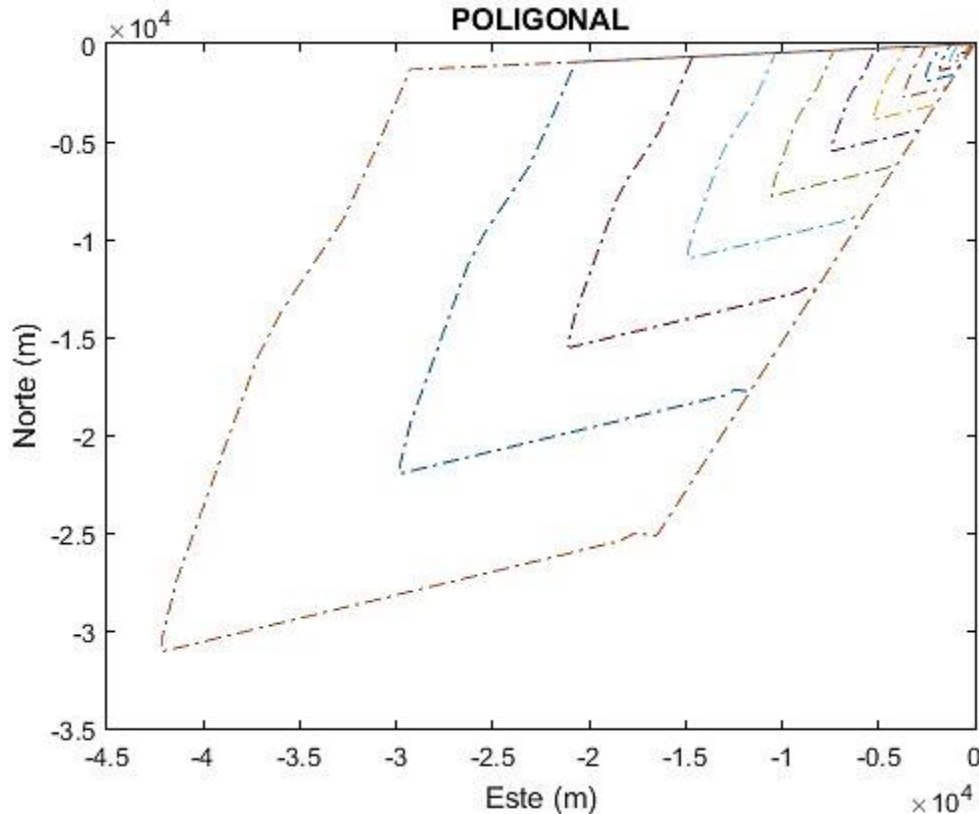
Vértice	e (m)	n (m)	u (m)	σ_n (m)	σ_e (m)
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,1700299	0,1500754
2	-91,0993	-138,9324	-3,5222	0,0400064	0,0200117
3	-97,5650	-138,2024	-3,6323	0,0500081	0,0300164
4	-101,4828	-140,4026	-4,1324	0,0600095	0,0300175
5	-232,6509	-171,6464	-23,2366	0,0400062	0,0200116
6	-232,6867	-167,2052	-22,9764	0,0700111	0,0400221
7	-228,6351	-151,5533	-21,5659	0,0500077	0,0200130
8	-221,6884	-132,7230	-19,8352	0,0400062	0,0200116
9	-205,4943	-88,5688	-16,5939	0,0400063	0,0200116
10	-198,6634	-75,6688	-16,1435	0,0400063	0,0200116
11	-187,7982	-59,7294	-14,5430	0,0400063	0,0200116
12	-180,8983	-49,5605	-13,4028	0,0400063	0,0200116
13	-170,3120	-26,9975	-12,1423	0,0500078	0,0200130
14	-161,8282	-7,2888	-10,0821	0,0500078	0,0200130

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para avaliar o comportamento da propagação de erros em função do aumento da área avaliada, realizou-se uma simulação com 15 interações e a cada nova interação dobrou-se a área da parcela, mantendo-se a qualidade posicional dos vértices. Lembrando que, os dados de entrada da simulação foram apresentados na Tabela 2.

Para cada interação foi calculada a propagação dos erros das coordenadas para o cálculo de área utilizando-se a derivada parcial da fórmula de Gauss conforme metodologia proposta por Jansson e Persson (2014), a área inicial da parcela simulada foi de 22.003 m². Nas Figuras 2, 3 e 4, é apresentado o resultado gráfico da simulação realizada.

Figura 2 Poligonais da simulação considerando-se 15 interações e dobrando-se a área a cada nova interação.



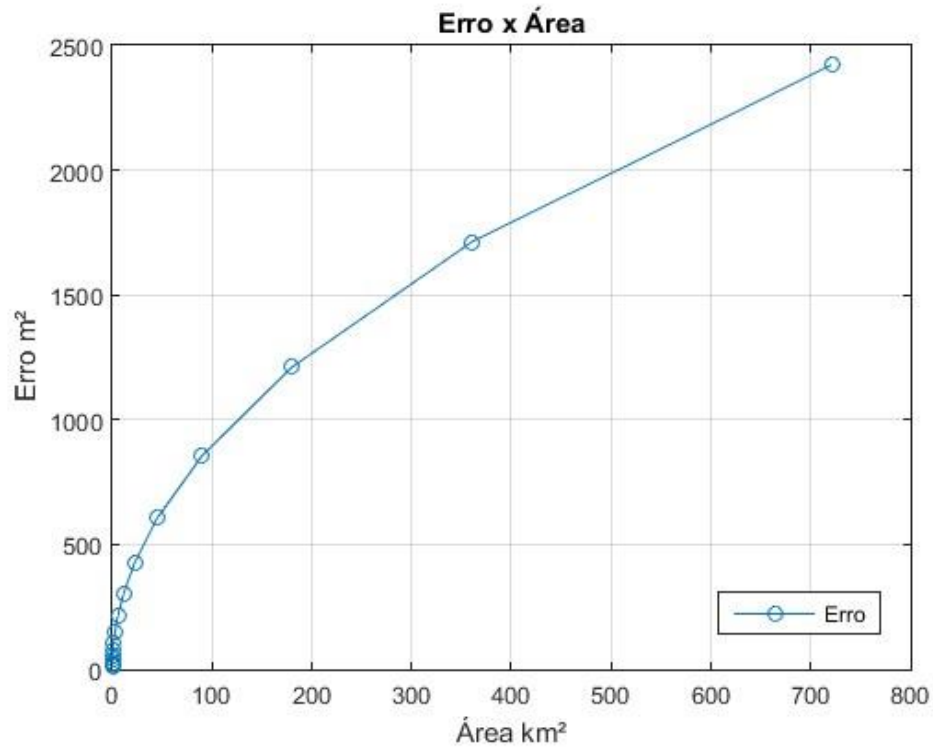
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na Figura 3, é possível observar que a relação do erro da área com aumento da área da parcela é não linear, ou seja, ao dobrar a área da parcela o valor do erro da área não aumenta na mesma proporção. E este comportamento da curva pode ser descrito por uma linha de tendência em forma de potência positiva.

A Figura 4, apresenta graficamente o comportamento da variação do erro percentual em função da variação da área da parcela. Nota-se que, o erro percentual diminui de forma acentuada nas primeiras interações e tende a uma estabilização suavemente decrescente à medida que a forma geométrica da parcela aumenta, demonstrando uma linha de tendência em forma de potência negativa.

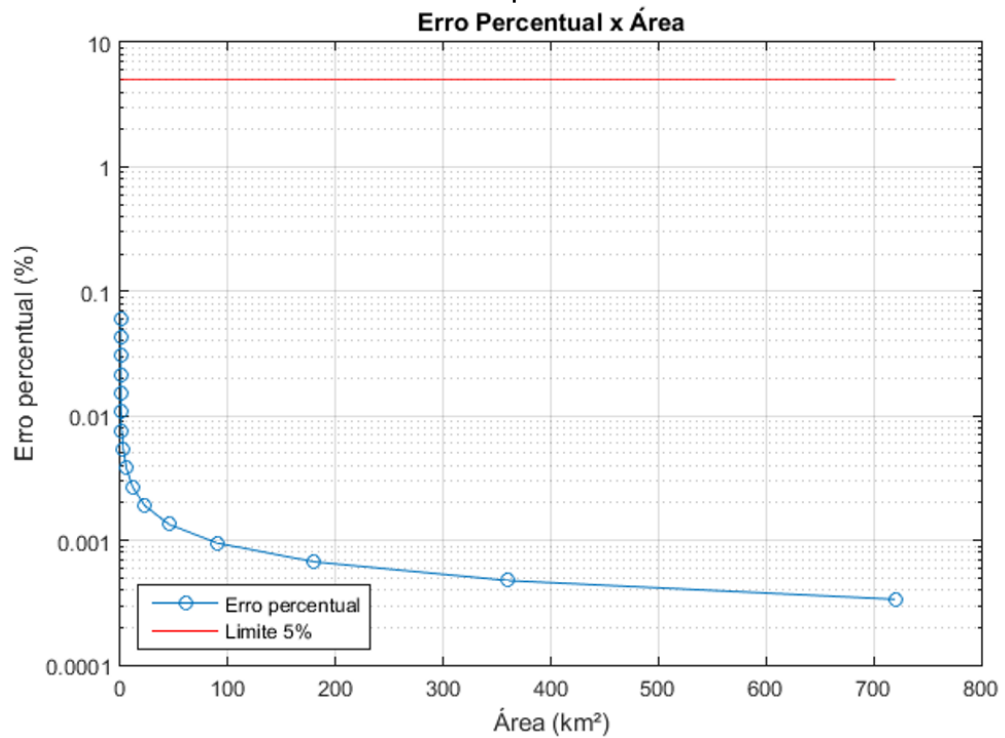
A partir dos resultados da propagação dos erros é possível afirmar que o erro aleatório é mais significativo para área com dimensões menores (Figura 4), o que também, foi constatado por Júnior et al. (2017). Diante deste contexto, o profissional de topografia e/ou geodésia deve ser mais rigoroso com a qualidade posicional ao levantar parcelas com área pequenas.

Figura 3 - Variação do erro estimado em função do aumento da área da parcela.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

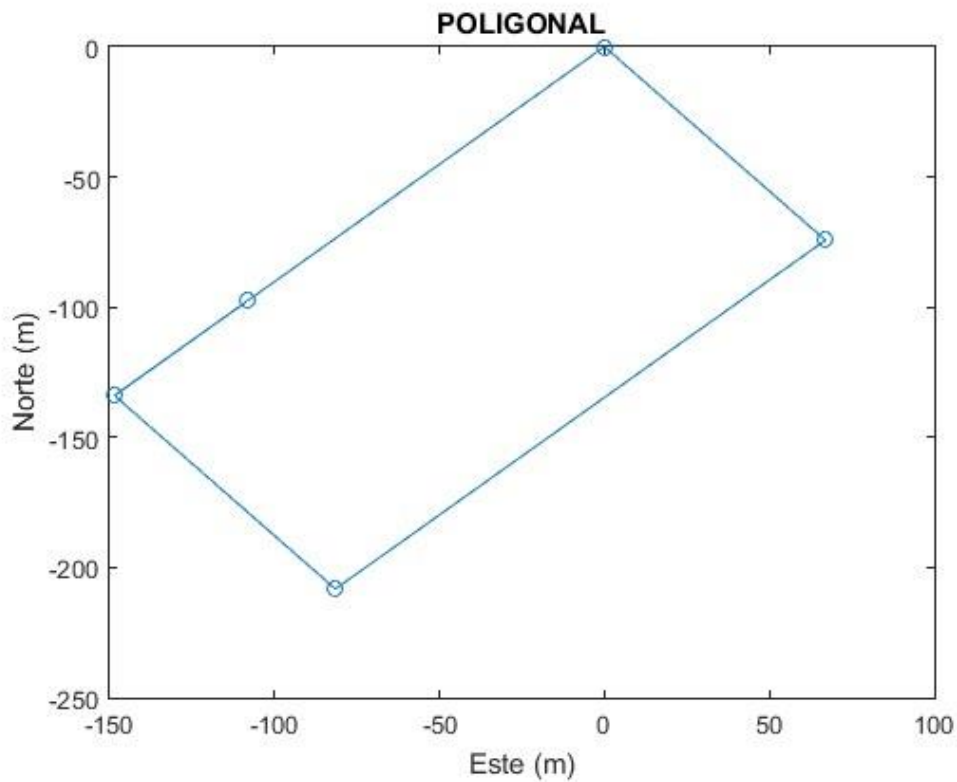
Figura 4 - Variação do erro percentual em função da variação da área da parcela.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Seguindo-se para o terceiro experimento, cujo objetivo é simular a influência da combinação das precisões de diferentes tipos de vértices definidores de limites estabelecidas no manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais sobre o cálculo de área, nas Tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os dados de entrada para a simulação. A representação gráfica da poligonal sintética gerada aleatoriamente no QGIS com 20.007,46 m² é mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Representação da poligonal usada na simulação T-1, T-2 e T-3.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 - Coordenadas transformadas para o sistema cartesiano local no TCD com propagação de variância-covariância para simulação T-1.

Vértice	e (m)	n (m)	u (m)	σ_n (m)	σ_e (m)	σ_u (m)
1	0,00	0,00	0,0000	0,3537	0,3536	0,3536
2	66,98	-74,28	-0,0008	0,3537	0,3536	0,3536
3	-81,58	-208,24	-0,0039	0,3537	0,3536	0,3536
4	-148,56	-133,96	-0,0031	0,3537	0,3536	0,3536
5	-108,08	-97,46	-0,0017	0,3537	0,3536	0,3536

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 4 - Coordenadas transformadas para o sistema cartesiano local no TCD com propagação de variância-covariância para simulação T-2.

Vértice	e (m)	n (m)	u (m)	σ_n (m)	σ_e (m)	σ_u (m)
1	0,00	0,00	0,0000	0,3537	0,3536	0,3536
2	66,98	-74,28	-0,0008	0,3537	0,3536	0,3536
3	-81,58	-208,24	-0,0039	2,1216	2,1216	2,1216
4	-148,56	-133,96	-0,0031	0,3537	0,3536	0,3536
5	-108,08	-97,46	-0,0017	0,3537	0,3536	0,3536

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Tabela 5 - Coordenadas transformadas para o sistema cartesiano local no TCD com propagação de variância-covariância para simulação T-3.

Vértice	e (m)	n (m)	u (m)	σ_n (m)	σ_e (m)	σ_u (m)
1	0,00	0,00	0,0000	0,3537	0,3536	0,3536
2	66,98	-74,28	-0,0008	0,3537	0,3536	0,3536
3	-81,58	-208,24	-0,0039	2,1216	2,1216	2,1216
4	-148,56	-133,96	-0,0031	5,3041	5,3041	5,3041
5	-108,08	-97,46	-0,0017	0,3537	0,3536	0,3536

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para uma poligonal retangular com 5 vértices a combinação das precisões de diferentes tipos de vértices definidores de limites não resultou em erro superior a 5% da área total da parcela conforme pode ser visto na Tabela 6. No entanto, é importante destacar que o tamanho, forma geométrica e a quantidade de vértices da parcela afetam diretamente o erro, assim, a avaliação deve ser feita individualmente.

Tabela 6 - Resultado da propagação de erro para simulação T-1, T-2 e T-3.

Simulação	\pm Erro (m ²)	Erro Percentual (%)
T-1	79,10	0,40
T-2	246,00	1,23
T-3	389,01	1,94

Ao avaliar a propagação de variância para uma área grande, com 20.377,4 ha, já certificada pelo INCRA, cadastrada no SIGEF sob código da parcela nº e04a8a5a-95f4-468f-89bc-50c0f0cd9b37, obteve-se variação da área igual a $\pm 4.619,601$ m² e erro percentual 0,002%. Vale destacar que, mesmo as coordenadas dos vértices

apresentando desvios padrão da ordem de 3,0 m a variação de área foi pequena, seguindo, portanto, o comportamento do erro percentual mostrado na Figura 4.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transformação das coordenadas UTM para coordenadas cartesianas locais com propagação de variância foi realizada de forma eficiente com uso do aplicativo TCD, considerando-se que, é necessário utilizar uma série de equações matemáticas para essa transformação.

Observa-se na Tabela 2, que com a propagação de variância covariância houve um acréscimo no valor dos desvios padrão dos vértices, no geral, a partir da 5^o casa decimal, considerando a unidade métrica. Dessa forma, é possível afirmar que o modelo matemático de transformação de coordenadas com propagação de variância covariância não soma erros as observações, sendo, portanto, aplicável.

Aplicando-se a lei geral de propagação de variância foi possível concluir que a relação do erro da área com aumento da área da parcela é não linear e o erro aleatório é mais significativo para área com dimensões menores.

Diante do exposto, nota-se que, apesar do manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais admitir o uso de precisões posicionais da ordem 3,0 m e 7,5 para vértices definidores de limites situados em limites naturais e inacessíveis, respectivamente, a variação de área para as parcelas avaliadas e simuladas não foi significativa ao ponto de infringir os 5% conforme disposto no parágrafo 1^o, art. 500^o da Lei nº 10.406, de 10 janeiro de 2002.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Claudinei Rodrigues; CAMARGO, Paulo de Oliveira; GALO, Mauricio. Transformação de coordenadas e Datum com propagação de covariâncias. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente-SP**, p. 9-13, 2002. Disponível em: https://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2002_I_SBG/htm/artigos/pdf/A_050.pdf. Acesso em: 25 nov. 2023.

BRANDÃO, A. C. **O princípio da vizinhança geodésica no levantamento cadastral de parcelas territoriais**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/85669/254606.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Brasília, DF: Presidência da República, 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 25 out. 2023.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary Surveying an Introduction to Geomatics**. 13th ed. Pearson, 2013. 60 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf. Acesso em 20. Out. 2023.

IBGE. **Resolução da Presidência nº 01, de 24 de fevereiro de 2015**. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001**. Altera dispositivos das Leis nº 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10267.htm. Acesso em 20. Out. 2023.

INCRA. **Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 2ª ed. Brasília, 2022. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_geo_imoveis.pdf. Acesso em 20. Out. 2023.

INCRA. **Instrução especial nº 5, de 29 de julho de 2022**. Dispõe sobre os índices básicos cadastrais e os parâmetros para o cálculo do módulo rural. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-especial-n-5-de-29-de-julho-de-2022-418986404>. Acesso em 28. Out. 2023.

JANSSON, Patric; PERSSON, Clas-Göran. **Uncertainty in área Determination**. Estocolmo: KTH Royal Institute of Technology, 2014. Disponível em: <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A804967&dswid=510>. Acesso em 09. Out. 2023.

JÚNIOR, Carlos Roberto Borges; BRITO, Jorge Luís Silva; SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon. Estimativa de área no sistema geodésico local para parcelas rurais com cálculo de área referenciado ao sistema UTM. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/7, p. 1411-1425, 2017.

FELIPE AUGUSTO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DOS ERROS DE
COORDENADAS PARA O CÁLCULO DA ÁREA**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos.

Aprovado em 20 de junho de 2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Mestre Wimerson Sanches Bazan
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Orientador
(Telepresença: Portaria Nº 783 de 19/11/2021 - Campus Vitória)

Mestre Leonardo Polese Alves
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Coorientador
(Telepresença: Portaria Nº 783 de 19/11/2021 - Campus Vitória)

Mestre Salomão Martins de Carvalho Júnior
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes
Membro Interno
(Telepresença: Portaria Nº 783 de 19/11/2021 - Campus Vitória)

Doutor Claudinei Rodrigues de Aguiar
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Membro Externo
(Telepresença: Portaria Nº 783 de 19/11/2021 - Campus Vitória)