



A Medição e Análise de Prumagem e Planeza na Construção de Fachadas e Pisos/Lajes de Edifícios

Measurement and Analyze of Verticality and Flatness for Building Facades and Floors/Slabs of Builds

Catarina Maria Ribeiro dos Santos ¹, Andréa de Seixas ², Silvio Jacks dos Anjos Garnés ³ e Yêda Vieira Póvoas ⁴

¹ Universidade Federal de Pernambuco, PPGCGTG, Recife, Brasil. cataribs@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9199-2775>

² Universidade Federal de Pernambuco, PPGCGTG, Recife, Brasil. adeseixas7@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5879-4902>

³ Universidade Federal de Pernambuco, PPGCGTG, Recife, Brasil. silviogarnes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0098-6645>

⁴ Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, Brasil. yeda.povoas@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1907-415X>

Recebido: 05.2020 | Aceito: 09.2020

Resumo: Este trabalho analisa o desempenho de métodos geodésicos/topográficos para o controle da planeza de superfícies horizontais, como pisos e lajes, e de superfícies verticais, assim como controle de prumagem de fachadas. Assim são propostas diretrizes para a implementação de uma metodologia para alcançar maior qualidade posicional e moderação das despesas, aperfeiçoando o processo construtivo destes elementos. O controle geométrico periódico da prumagem e planeza em um edifício predial é importante para o controle de qualidade da execução de obras. Através da discretização de superfícies, por meio de uma grade regular de pontos-objeto, a regressão linear múltipla possibilita a avaliação de planos, reconstituindo superfícies. Este trabalho contempla a implantação do sistema geodésico de referência planialtimétrico, ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, análise de variâncias para comparação de resultados obtidos pelos métodos geodésicos/topográficos e respectivas incertezas, além da aplicação da regressão linear para estudo da planeza e prumagem. As superfícies investigadas tiveram suas coordenadas tridimensionais determinadas, para fins de comparação dos resultados. Toda a análise estatística foi realizada a um nível de confiança de 95%, provando que o método de irradiação 3D apresenta resultados sem diferença significativa quando comparados com os demais métodos empregados. Após a análise estatística e comprovação do método de medição, a regressão linear múltipla permitiu a reconstituição dos planos horizontais e verticais e a avaliação da prumagem da fachada, ou seja, o quanto esta, se apresenta inclinada, tornando-se assim, outro método investigativo, além do clássico mapeamento de fachada adotado na construção civil, com base em prumos verticais.

Palavras-chave: Verticalização de Estruturas. Levantamentos Geodésicos e Topográficos. Análise de Variâncias. Análise de Superfícies.

Abstract: This work analyzes the performance of geodetic/topographic methods to control flatness of horizontal surfaces, such as floors and slabs, and vertical surfaces, as well as the control of verticality on facades. Thus, guidelines are proposed for the implementation of a methodology to achieve higher positional quality and moderation of expenses, improving the constructive process of these elements. The periodic geometric control of verticality and flatness in a building is important for the quality control of the execution of works. Through the discretization of surfaces, from a regular series of object points, a multiple linear regression allows an evaluation of planes, reconstituting surfaces. This work contemplates the implementation of a planialtimetric geodetic reference system, adjustment by the Least Squares Method, analysis of variances to compare results obtained by geodetic/topographic methods and respective uncertainties, in addition to the application of linear regression for study of flatness and plumb. Investigated surfaces had their three-dimensional coordinates applied, for the purpose of comparing the results. All statistical analysis was performed with a 95% confidence level, proving that the 3D irradiation method shows results without significant difference when compared with the other methods used. After the statistical analysis and proof of the measurement method, multiple linear regression allowed the reconstitution of horizontal and vertical planes and evaluation of the facade's verticality, that is, how much it is slanted, thus becoming another investigative method, in addition to the classic mapping of the facade adopted in civil construction, based on vertical plumbs.

Keywords: Structures Verticalization. Geodetic and Surveying Methods. Analysis of Variance. Surface Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico vem abrangendo cada vez mais áreas, aprimorando resultados e reduzindo custos. Em grande parte das obras, as ferramentas para controle geométrico de planeza e prumagem na construção civil de edificação utilizadas são: trena, esquadro, nível de mangueira e prumo.

No trabalho desenvolvido por Botelho (2003), evidenciou-se a falta de integração por parte dos executores de obras de edificações e importância de uso em todas as etapas do processo construtivo das técnicas topográficas e geodésicas mais precisas. No cotidiano, vê-se a falta de equipamentos de alta precisão nas obras. Estes são observados quando medidas corretivas precisam ser tomadas para retificação de trabalhos dados por “concluídos”, postergando a entrega da obra finalizada.

Os processos topográficos, sobretudo na tentativa de nivelamento de lajes e prumo de pilares, refletem a busca do resultado "imediato" na percepção do controle de qualidade da geometria destas peças estruturais. Dos resultados advindos das pesquisas apresentadas por Botelho (2003) para o prumo de fachadas, no intervalo dessa camada de revestimento, encontrou-se desperdício entre 3 cm e 14 cm, obtido por medição. Segundo o mesmo autor, a principal constatação decorrente da pesquisa de campo é que existem ações concretas dentro da obra para reduzir desperdícios e melhorar a qualidade de execução, propondo o posicionamento preciso da obra como importante procedimento para a racionalização construtiva.

Um devido controle geométrico na locação da obra, acompanhado de um constante monitoramento da verticalidade durante o período estrutural e da horizontalidade de lajes/pisos, são fundamentais para o atendimento das normas e a racionalização de material, como evidenciado na NBR 14645-1 (ABNT, 2001). O erro de prumo de fachadas pode advir de falha de locação, falta de coordenação entre os projetos e/ou deficiências ocorridas durante a execução da estrutura e alvenaria.

Estudos de planeza de lajes e fachadas são abordados em Santos (2019), tomando como referência estudos desenvolvidos na área de controle geométrico geodésico, destacando o ajustamento de coordenadas planialtimétricas de pontos-objeto discretizados em fachadas e pisos/lajes com aplicação na construção civil, no que diz respeito a verticalidade e horizontalidade de estruturas, envolvendo estudos de planeza, juntamente com as análises de controle geométrico e modelagem de superfície.

Sabe-se que, na maioria das obras, a planeza de uma superfície é feita com base no nivelamento hidrostático, usando-se nível de mangueira ou nível a LASER nas empresas mais bem equipadas. Partindo com o nivelamento geométrico como referência, nesse trabalho para estudo da planeza de lajes/pisos, testa-se a viabilidade de outros métodos: o nivelamento trigonométrico e a interseção a vante, assim como a irradiação 3D, como métodos alternativos da determinação de superfícies planas horizontais. Para a determinação da planeza horizontal, o ‘nivelamento geométrico’ apenas fornece a diferença de nível ΔH e altitude H ; em contrapartida, a utilização da estação total fornece dados nas 3 dimensões (x , y , H).

Este trabalho tem como objetivo principal identificar e analisar métodos geodésicos/topográficos para o controle geométrico (prumagem e planeza de fachadas, e planeza de pisos/lajes) de um edifício, e suas implicações, visando favorecer o aprimoramento dos métodos rudimentares de prumagem por avanços tecnológicos nas obras, melhorando assim, o processo construtivo e controlando os prumos e as planezas do *as built*. Vem a contribuir também, no entendimento prático de técnicas geodésicas/topográficas nos canteiros de obras da construção civil. Neste contexto, definiu-se uma metodologia para analisar o padrão de qualidade de fachadas e de pisos/lajes na construção de um edifício, por meio da medição de pontos distribuídos nessas superfícies e pela aplicação de ajustamento de modelos de superfície a estas, para a determinação da inclinação.

Destaca-se que mesmo não explorado neste trabalho, o *Laser Scanner* apresenta grande potencialidade para o tema em discussão. Este é considerado como sistema de medição com tecnologia de qualidade, precisa e de fácil uso. O *Laser Scanner* vem sendo utilizado em diversos trabalhos, como citado por Barbarella et al. (2017), por exemplo, na aplicação da técnica de medição a *Laser* para uma pista de aeroporto.

Jaafar, Meng e Sowter (2017) citam que o levantamento com *Laser Scanner* terrestre pode apresentar três desafios no monitoramento de estruturas: primeiro, a grande quantidade de dados; segundo, a locação do *Scanner* nos mesmos pontos em épocas distintas; e terceiro, os ruídos. Em Alves (2020), apresenta-se uma investigação laboratorial com abordagem estatística baseada em planos de controle aplicados ao monitoramento de estruturas com varredura *laser* terrestre. Segundo este autor, em medições a laser os

resultados mais confiáveis são obtidos nas regiões centrais do escaneamento, enquanto nas regiões periféricas de escaneamento os resultados estão influenciados por erros provocados pelo ângulo de incidência do feixe.

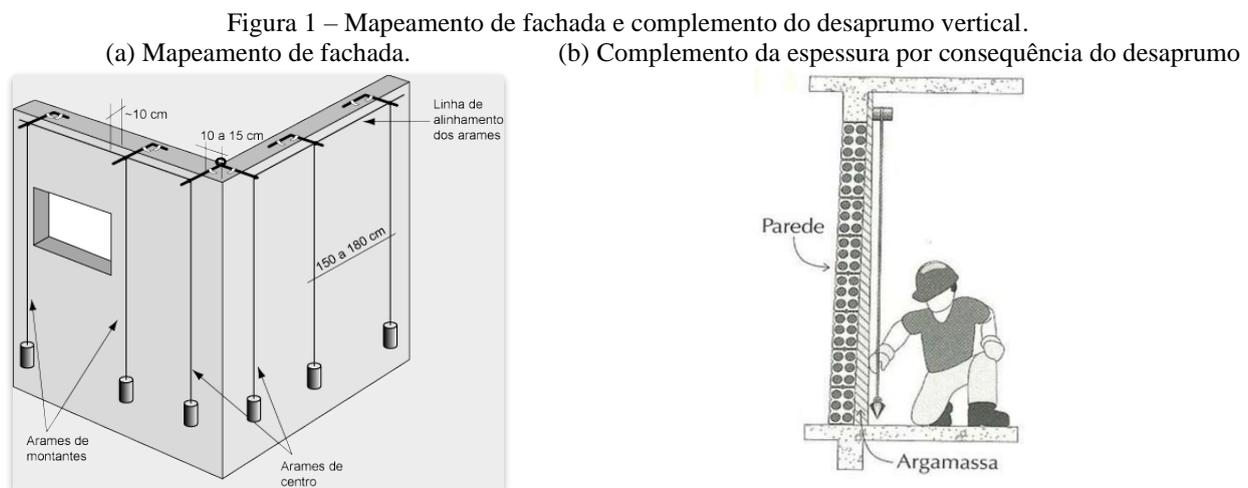
A tecnologia a *Laser* para nivelamento de fachadas é empregada e serve também aos propósitos deste trabalho. No entanto, a mesma se restringe a casos de fachadas planas, e neste caso, os métodos propostos neste trabalho complementam os procedimentos técnicos com o emprego de outros sistemas de medição com a aplicação dos métodos aqui propostos e apresentados.

2 ESTUDO GEODÉSICO/TOPOGRÁFICO DE PRUMAGEM E PLANEZA NA CONSTRUÇÃO DE FACHADAS E PISOS/LAJES DE EDIFÍCIOS

O controle da verticalização na construção civil é comumente realizado por meio da fixação de fios de prumo, em arame, no topo da edificação afastados em torno de 10 cm da fachada (Figura 1a), de modo que seja possível anotar os desvios verticais de vigas, pilares e alvenarias em vários locais (SOUZA; MEKBEKIAN, 1997).

Para a aplicação do emboço, por exemplo, indica-se a espessura do revestimento pela posição da linha de prumo e, em seguida, assentam-se as taliscas (pedaços de material cerâmico assentados com argamassa) como referência, preenchendo-se, então, as mestras entre as taliscas. Posteriormente, aplica-se a argamassa no resto da superfície (MILITO, 2009).

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013) emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final (Figura 1b). Ou seja, tem a finalidade de eliminar as imperfeições da superfície trabalhada, permitindo que a superfície fique completamente alinhada e uniforme.



Fonte: IAU (2017).

Fonte: Souza (2005).

As placas cerâmicas para revestimento de pisos e paredes apresentam uma diversidade de produtos, em consequência de uma série de possibilidades de combinações, destacando-se: escolha da massa; forma de preparo; tipo de conformação da placa; tipo de acabamento da superfície; processamento térmico; e, conseqüentemente, das características técnicas do produto (MOTTA; CABRAL JUNIOR; TANNO, 1998). Placas de granito também são amplamente empregadas no revestimento de pisos na forma de ladrilhos assentados com argamassa industrializada (MOREIRAS; PARAGUASSÚ, 2012).

De acordo com a NR 18 (BRASIL, 2018), prumagem é a colocação de peças no sentido vertical (linha de prumo). O prumo, por definição, é um instrumento para detectar ou conferir a vertical do lugar (Figura 1). A principal diferença da prumagem de fachadas quando comparada com a verticalidade do pilar, é que este é analisado como um único eixo central, e a fachada leva em consideração a existência de um plano. Dessa forma, a verticalidade da fachada está sintetizada no quanto o plano vertical está apumado.

Planeza (ou planicidade) é referente a plano, ou seja, referente a quão plano uma superfície pode estar.

De acordo com a norma ISO 1101 (ISO, 2017), a tolerância (t) à planicidade é a dimensão linear, que caracteriza a zona de tolerância em que a localização da superfície plana deve ser considerada. A zona de tolerância é limitada por dois planos paralelos distantes um do outro por um valor t .

A medição e análise de prumagem e planeza na construção de fachadas e pisos/lajes de edifícios considera a necessidade de definição de sistemas de referência para a conexão entre a estrutura predial e os sistemas de medição a serem empregados, assim como a definição de campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto (SILVA; SEIXAS; ROMÃO, 2004). Em Silva et al. (2015), ressalta-se as transformações entre os sistemas de referência envolvendo a estrutura predial e os sistemas de medição implantados com equipamentos geodésicos/topográficos, ressaltando-se a definição de um Sistema Geodésico Local (SGL) em obras de engenharia.

2.1 Avaliação da qualidade e análise de superfícies

De acordo com Gemael (1994), quando se tem superabundância de observações, o método de ajustamento preferido do geodesta é o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) por ser um estimador imparcial e fornecer variância mínima. Tal método embora possa ser usado na presença de erros grosseiros e sistemáticos, a validação estatística dos resultados deverá ocorrer apenas em observações que possuam distribuição normal, com erros acidentais (aleatórios).

2.1.1 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ)

O problema que envolve o ajustamento das observações deve consistir em um modelo funcional (equações) e um modelo estocástico (variância de referência e pesos). O modelo funcional envolvendo parâmetros (X) e/ou observações (L) se dá por meio de equações explícitas: $L=F(X)$, ou implícitas: $F(L)=0$ ou $F(L, X)=0$.

Neste trabalho, o modelo funcional utilizado foi o de equações explícitas, conhecido como método paramétrico (GEMAEL, 1994), o qual pressupõe que as observações ajustadas (L_a) são funções de parâmetros ajustados (X_a), Eq. (1), que na sua forma linearizada, Eq. (2), alcança seu ponto de ótimo \hat{X} pelas Eq. normais (3) que satisfazem a Eq. de mínimos quadrados (4).

$$L_a = F(X_a) \quad (1)$$

$$V = AX - L \quad (2)$$

$$(A^T P A) \hat{X} = (A^T P L) \quad (3)$$

$$V^T P V = \text{mínimo} \quad (4)$$

Neste modelo L_a é o vetor ($n \times 1$) das observações ajustadas; $X_a = X_0 + \hat{X}$ é o vetor ($u \times 1$) dos parâmetros ajustados, sendo X_0 , o vetor de parâmetros aproximados; \hat{X} é o vetor de correções estimadas; e F , é uma função que relaciona observações e parâmetros, podendo ser linear ou não linear.

A validação estatística do ajustamento quanto a normalidade das observações, baseia-se no fato de a soma de quadrados de uma variável aleatória n -dimensional ter distribuição Qui-Quadrado e, dessa forma, a hipótese nula $H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$ não é rejeitada ao nível de significância α , se a estatística (Eq. (5)):

$$\chi^2 = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2}, \quad (5)$$

estiver dentro do intervalo dos percentis inferior ($\chi_{v, \alpha/2}^2$) e superior ($\chi_{v, 1-\alpha/2}^2$) da distribuição Qui-Quadrado, ao nível de significância α , com $v=n-u$ graus de liberdade, Eq. (6):

$$\chi_{v, \alpha/2}^2 < \chi^2 < \chi_{v, 1-\alpha/2}^2. \quad (6)$$

Este método de ajustamento é conhecido na literatura e detalhes com pormenores e focos diferenciados podem ser encontrados em: Mikhail e Gracie (1981), Gemael (1994), Leick (1995), Garnés; Sampaio e Dalmolin (1997), Dalmolin (2002) entre outros.

2.1.2 REGRESSÃO LINEAR

A regressão linear é o termo usado em estatística para uma particularidade do método paramétrico de mínimos quadrados, em geral quando, o modelo estocástico tem peso unitário $\sigma_0^2 = 1$ e $P = I$ (matriz identidade) e os modelos funcionais são apresentados conforme Eq. (7) e Eq. (8) (MARQUES, 1994; OLIVEIRA FILHO, 2002):

$$Y_j = a + b \cdot X_j \tag{7}$$

$$Y_j = a + b_1 \cdot X_{1j} + b_2 \cdot X_{2j} + \dots + b_k \cdot X_{kj} \tag{8}$$

No caso, X_j ou X_{ij} são as variáveis independentes sem propriedades estocásticas; Y_j são as variáveis dependentes e possuem propriedades estocásticas; e os elementos: $a, b, b_i, i = 1, \dots, k$ são os parâmetros da regressão linear; o índice j representa a j -ésima observação; e o índice k representa a k -ésima variável independente.

Quando o modelo utiliza a Eq. (7) chama-se regressão linear simples; e quando utiliza a Eq. (8) chama-se regressão linear múltipla.

Tanto a Eq. (7), quanto a Eq. (8) são lineares em relação aos parâmetros e com isso a função F apresentada na Eq. (1) do MMQ é linear, o vetor X_0 pode ser tomado igual ao vetor nulo e o método dos mínimos quadrados tem solução imediata sem a necessidade de iterações, dada pela solução das equações normais, Eq. (3), ou na presença de geometria desfavorável com mal-condicionamento, as soluções utilizando decomposições ortogonais conforme discutidas em Garnés, Sampaio e Dalmolin (1997).

Neste trabalho utilizou-se a metodologia da regressão linear múltipla para o estudo da planeza de fachadas e pisos/lajes.

2.1.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIAS: ANOVA

A análise da variância, também conhecida por ANOVA, testa duas ou mais médias populacionais utilizando variâncias e a distribuição F, para a tomada de decisão. Na aplicação da ANOVA, neste trabalho, foi pressuposto que as amostras foram obtidas de populações normalmente distribuídas, aleatórias, independentes e com variâncias iguais (condição de homocedasticidade). Dessas condições a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_1), para k populações, podem ser formuladas como (Eq. (9)):

$$\left. \begin{aligned} H_0 : \mu &= \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \\ H_1 : &\text{pelo menos uma média populacional é diferente das demais} \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

A decisão quanto não rejeitar a hipótese nula (H_0) ou em aceitar a hipótese alternativa (H_1) vem do cálculo dos elementos do quadro da ANOVA, Quadro (1):

Quadro 1 - Análise da Variância: ANOVA.

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	Estatística F
Entre amostras	SQE	k-1	$s_e^2 = \frac{SQE}{k-1}$	$F = \frac{s_e^2}{s_r^2}$
Residual	SQR	N-k	$s_r^2 = \frac{SQR}{N-k}$	
Total	SQT	N-1		

Fonte: Marques (1994).

Em que SQE, SQR e SQT são dados pelas Eqs. (10, 11 e 12), respectivamente (MARQUES, 1994):

$$SQE = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (\bar{x}_j - \bar{x})^2, \tag{10}$$

$$SQR = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \tag{11}$$

$$SQT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2. \tag{12}$$

Sendo: x_{ij} o i -ésimo elemento da j -ésima amostra; \bar{x}_j é média da j -ésima amostra; \bar{x} é a média do

conjunto de todas as amostras; N é o número total de observações; e k é o número de populações de onde são provenientes as amostras.

A decisão do teste é: rejeitar H_0 quando $F > F_{\alpha}(k-1, N-k)$; e, não rejeitar H_0 quando ocorrer o contrário $F \leq F_{\alpha}(k-1, N-k)$.

Quando a aplicação da análise de variâncias conduz à rejeição da hipótese nula, tem-se a evidência de que existem diferenças entre as médias populacionais. No entanto, o método não permite identificar qual ou quais médias têm discrepância significativamente das demais. Essa identificação poderia ser feita comparando-se duas a duas médias populacionais μ_1 e μ_2 usando a distribuição normal padronizada Z quando os desvios padrões populacionais σ_1 e σ_2 forem conhecidos, ou usando a distribuição *t-Student* quando os desvios padrões populacionais não forem conhecidos.

Outro caminho para identificar a diferença entre as médias populacionais, caso o teste da ANOVA rejeite H_0 é por meio do método de Scheffé, que segundo Marques (1994) é um método robusto e completo. Este método compara duas a duas as amostras, por exemplo: a amostra i e a amostra j , utilizando-se dos elementos já calculados no quadro da ANOVA e como inferência, haveria diferença significativa entre as médias μ_i e μ_j se ocorrer que o módulo das médias das amostras i e j , seja maior que um certo valor tendo como base a distribuição F , conforme Eq. (13).

$$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > \sqrt{s_F^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right) (k-1) F_{\alpha}(k-1)(N-k)}. \quad (13)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo compõe uma parte de uma fachada e um trecho do piso do *hall* de entrada, de um prédio em fase de acabamento para a época de levantamento de campo do presente trabalho, o qual está situado dentro do Campus Recife da UFPE. Para o desenvolvimento desse trabalho, utilizou-se dois equipamentos: estação total TOPCON GPT 3200 N/NW (com prisma possui precisão angular de $\pm 5''$ e precisão linear de $\pm(5\text{mm}+5\text{ppm}\cdot D)$; e sem prisma, precisão linear de $\pm 10\text{mm}$ para distâncias de (1,5 a 25) m; e precisão linear de $\pm 5\text{mm}$ para distâncias acima de 25 m) e nível digital EL302A (precisão $\pm 0,7$ mm/Km duplo nivelado), acompanhados dos devidos acessórios, como mira, base nivelante, prisma e tripé. Além dos *softwares* AstGeoTop, Matlab e Excel.

Dentre os métodos adotados:

- Delimitou-se uma poligonal apoiada em pontos de referência mais próximos (Figuras 2a e 2b);
- Com as coordenadas 3D obtidas através de métodos (nivelamento, irradiação simples e interseção a vante), fez-se uma análise de correlação entre os dados, para saber se há diferença significativa entre eles. A partir daí foi possível determinar por regressão linear múltipla, o plano que mais se aproximava dos valores obtidos. Vale salientar que o edifício estava em fase de acabamento, ou seja, a sua fase estrutural havia sido finalizada;
- A prumagem foi verificada para a conferência da fachada revestida em ACM (*Aluminium Composite Material*). Para uma situação hipotética da verificação do prumo em uma edificação ainda em fase estrutural, tal verificação pode permitir que para a hipótese de desaprumo, as devidas providências de retificação fossem adotadas ainda na construção da obra.

A Figura 3 (Figuras 3a, 3b, 3c e 3d) assim como a Figura 4 (Figuras 4a, 4b e 4c) ilustram as superfícies discretizadas, medidas e analisadas neste trabalho. A primeira se refere a determinação dos pontos-objeto de piso/laje e a segunda se refere a determinação dos pontos-objeto de fachada em ACM, utilizando-se para isso os respectivos métodos de medição.

3.1 Medição geodésica/topográfica de superfícies de fachadas e de pisos/lajes na construção civil

É fundamental que obras civis sejam vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, favorecendo assim, a disseminação dessas informações para vincular a um banco de dados municipal. Desta forma as coordenadas

no Sistema Geodésico Local (SGL), devem estar associadas ao Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000.

A metodologia proposta neste trabalho não exige nenhum georreferenciamento. Dependendo do tamanho da obra, este poderá encarecer o produto final. No entanto, embora não seja necessário, recomenda-se o georreferenciamento conforme apresentado neste trabalho.

Para a medição da edificação é necessário implantar pontos de referência para a medição dos pontos-objeto, neste trabalho, estes últimos distribuídos em lajes/pisos e em fachada de revestimento em ACM. Os pontos de referência foram implantados aplicando os métodos da poligonização, interseção a ré e nivelamento geométrico, uma vez que na área existe um SGL definido a partir de uma Rede de Referência Cadastral do Campus Recife da UFPE, conforme descrição em Mendonça *et al.* (2010). Os pontos-objeto foram determinados aplicando os métodos do nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, este último aplicado por intermédio do método da interseção a vante e irradiação 3D (simples, dupla e tripla).

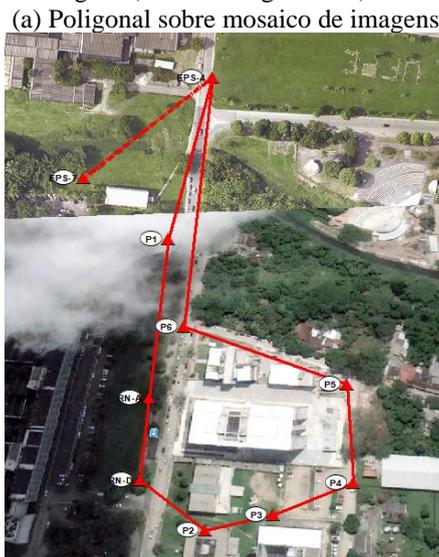
Definiu-se os pontos no entorno da obra, para a implantação de uma poligonal fechada ao redor do prédio composta de 9 pontos: EPS04, P1, RN-A, RN-D, P2, P3, P4, P5, P6 e alinhamento azimutal entre os vértices EPS04 e EPS07. Escolheu-se uma fachada e um trecho do piso do pavimento térreo de uma edificação em construção para servir de teste.

A poligonal no entorno da área de estudo permitiu que com base nas coordenadas determinadas, fossem realizadas as medições na fachada frontal do edifício, utilizando-se as técnicas de irradiação 3D e de interseção a vante 3D, possibilitando determinar o plano da fachada e a sua prumagem. Além disso, a partir de Referências de Nível estáveis, implantadas em trabalhos anteriores nos arredores da área de estudo, fez-se o transporte de altitudes ortométricas para o interior do prédio, objeto de estudo, determinando-se no *hall* de entrada da edificação uma malha quadricular de altitudes, para a análise da planeza do piso, através de técnicas de nivelamento geométrico, trigonométrico, irradiação 3D e interseção a vante.

Identificados as Referências de Nível e *Benchmarks* no entorno do objeto de estudo, adotou-se como partida do nivelamento geométrico o *Benchmark* RN-CTG-01 no prédio CTG (Centro de Tecnologia e Geociências) do Campus Recife da UFPE, cujo valor da altitude ortométrica do *Benchmark* está disponível em Silva e Seixas (2017). Executou-se a rede de nivelamento geométrico com a finalidade de transportar a altitude conhecida da RN-CTG-01 para dentro da obra (RN-LITPEG01).

Para o desenvolvimento da metodologia na análise de planeza no plano vertical, foram implantados três pontos de referência em frente a fachada em ACM do prédio em construção. Estes foram denominados de vértices: FACH1, FACH2 e FACH3, todos intervisíveis entre si e intervisíveis aos vértices RN-A e RN-D, permitindo assim, a superabundância de dados. Os pontos FACH_i (i = 1, 2, 3) foram locados entre os pontos da poligonal RN-D e RN-A de forma estratégica, para permitir a visibilidade desses 3 pontos para 2 vértices da poligonal implantada no entorno da obra (Figura 2a). O transporte altimétrico foi realizado a partir da altitude da RN-A, uma vez que esta foi determinada durante o transporte altimétrico da RN-LITPEG01 a partir da RN-CTG-01, para os vértices FACH_i utilizando o método de nivelamento trigonométrico e destes para os pontos da fachada investigada. As coordenadas planimétricas dos vértices FACH_i foram determinadas por interseção a ré (medições combinadas de direção e distância), visando-se os pontos conhecidos RN-D e RN-A, com coordenadas planimétricas determinadas pela poligonal ajustada (Figura 2b e Tabela 1). De acordo com Kahmen (2006) o método de interseção a ré é realizado por meio de medição de direções (problema de Pothenot), por meio de medição de distâncias (método da trilateração) e por meio de medições combinadas de direção e distância, este último conhecido por método da estação livre.

Figura 2 - Poligonal sobre mosaico de imagens (PCR e Google Earth) e Carta com ilustração dos Pontos FACHi.



(b) Carta com ilustração dos Pontos FACHi



Fonte: Santos (2019).

Tabela 1 - Coordenadas no SGL SIRGAS2000 dos FACHi (interseção a ré e nivelamento trigonométrico).

PONTO	x (m)	y (m)	H (m)
FACH1	149.771,8444	249.681,2462	8,9411
FACH2	149.766,6586	249.673,2713	9,1331
FACH3	149.768,4308	249.645,9599	8,8885

Fonte: Santos (2019).

O processamento e ajustamento da poligonal foi realizada no módulo levantamento planimétrico @ versão 2012.11.11 do *software* AstGeoTop, tendo como dados de entrada (ângulos, distâncias e pontos conhecidos). Para o processamento e ajustamento da rede de nivelamento geométrico utilizou-se o módulo Nivelamento Geométrico @ versão 2016.03.18 do *software* AstGeoTop, adotando-se o valor inicial de 9,7360 ± 0,0001 metros para a altitude da RN CTG-01, descrita em (SILVA; SEIXAS, 2017).

3.1.1 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS-OBJETO DE PISO/LAJE

Na determinação de pontos-objeto de piso/laje aborda-se como as técnicas de nivelamento geométrico com irradiação simples, nivelamento trigonométrico, irradiação 3D e interseção a vante 2D e 3D podem auxiliar na determinação de coordenadas planimétricas e altimétricas de pontos distribuídos em superfícies tomadas como planas e horizontais. Detalhes sobre estes métodos podem ser vistos em Kahmen (2006) e Silva e Segantine (2015).

A metodologia empregada consistiu na criação de uma malha quadrangular 4x4 no *hall* de entrada da área de estudo. Os pontos a serem determinados suas altitudes foram escolhidos a partir dos encontros das quinas das placas de granito. O tamanho adotado da malha (16 pontos) foi tomado apenas para fins de demonstração e aplicação da metodologia do experimento executado.

A determinação da RN-LITPEG01 permitiu o transporte de altitude para o interior da obra possibilitando a medição da superfície plana horizontal do *hall* de entrada. Para o transporte de altitude até a malha do quadrilado, realizou-se uma segunda rede de nivelamento/contra-nivelamento geométrico. A infraestrutura das Referências de Nível utilizadas neste trabalho foi estabelecida em trabalho em desenvolvimento (SEIXAS; SEIXAS, 2019).

Para a medição dos pontos distribuídos no reticulado, adotou-se um sistema de referência arbitrado local sem correlação na planimetria com o SGL da poligonal implantada. Uma vez que o objetivo deste procedimento foi da determinação altimétrica dos 16 pontos-objeto escolhidos e distribuídos sobre o piso.

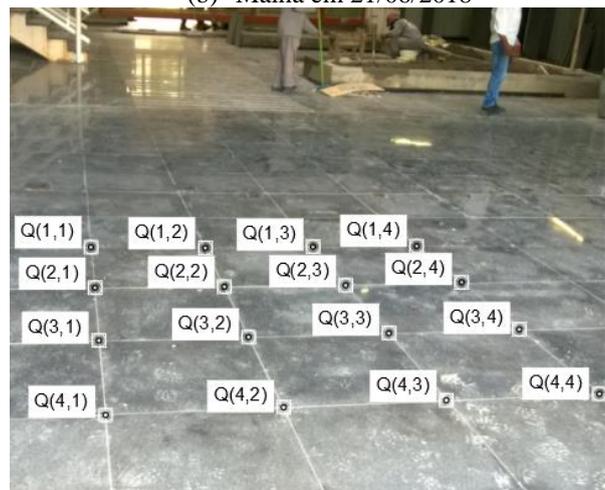
A altitude da Referência de Nível auxiliar temporária AUX-04 (Figura 3a) foi determinada por meio do nivelamento e contra-nivelamento a partir da RN-LITPEG01. Esta Referência de Nível auxiliar foi instalada próxima aos pontos distribuídos sobre o piso de granito (Figura 3b), e foi utilizada como visada a ré, para a medição dos 16 pontos da malha. Utilizou-se o nivelamento geométrico radiante simples para a medição da mira instalada sucessivamente sobre os pontos, assim como a irradiação 3D e interseção a vante para a medição de prisma instalado em bastão. Para esta área de investigação, tanto o nível automático quanto a estação total, esta última instalada em dois vértices para a formação de uma base de medição (Figura 3d), foram instalados próximos a malha, tendo-se ambos sistemas de medição como Referência de Nível a RN AUX04 como visada a ré. As observações envolveram medições de alcances curtos, justificando-se o posicionamento dos equipamentos excêntricos a malha (Figura 3c).

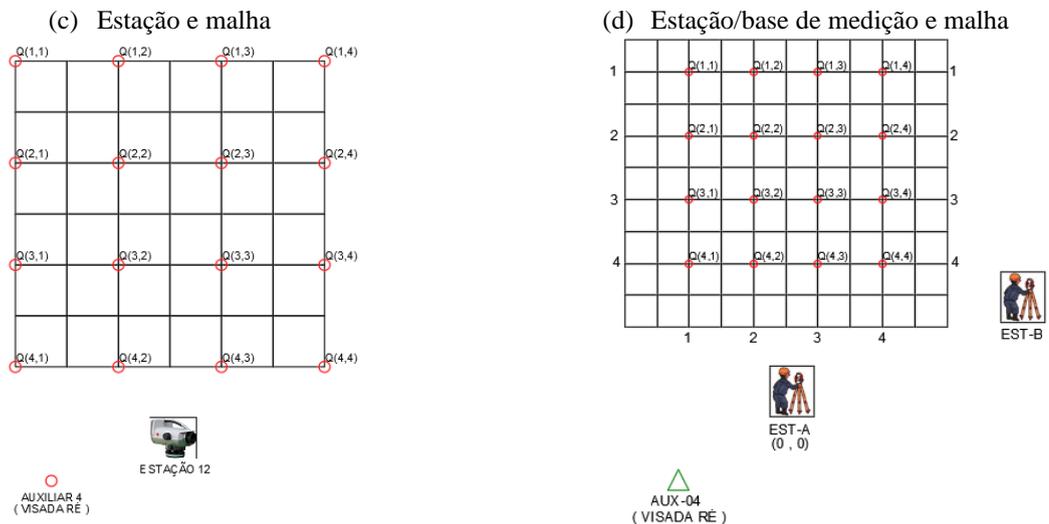
Figura 3 - Croqui da rede e dos pontos do quadrilado/reticulado.

(a) RN-LITPEG01 e auxiliares



(b) Malha em 21/06/2018





Para fins de comparação de resultados, a superfície plana horizontal do *hall* de entrada teve suas altitudes medidas também por meio da técnica de nivelamento trigonométrico com visada unilateral. O ponto AUX-04, o qual teve sua altitude determinada por meio da rede de nivelamento geométrico, foi tomado como referência para os pontos do quadriculado/reticulado. Os 16 pontos, medidos com o sistema bastão e prisma apoiado em uma fita adesiva sobre o rejunto do piso de granito, foram tomados a partir de uma estação denominada EST-A (Figura 3d). Para controle dos resultados, uma segunda estação denominada EST-B mediu 4 pontos do referido quadriculado/reticulado, sendo esses os quatro extremos da malha: Q(1,1), Q(1,4), Q(4,1) e Q(4,4). O método de interseção a vante aplicado nos pontos extremos da malha teve o objetivo de controlar o transporte altimétrico realizado e mostrar a aplicabilidade de um segundo método, além da irradiação simples 3D, embora envolva mais acessórios e tempo de medição.

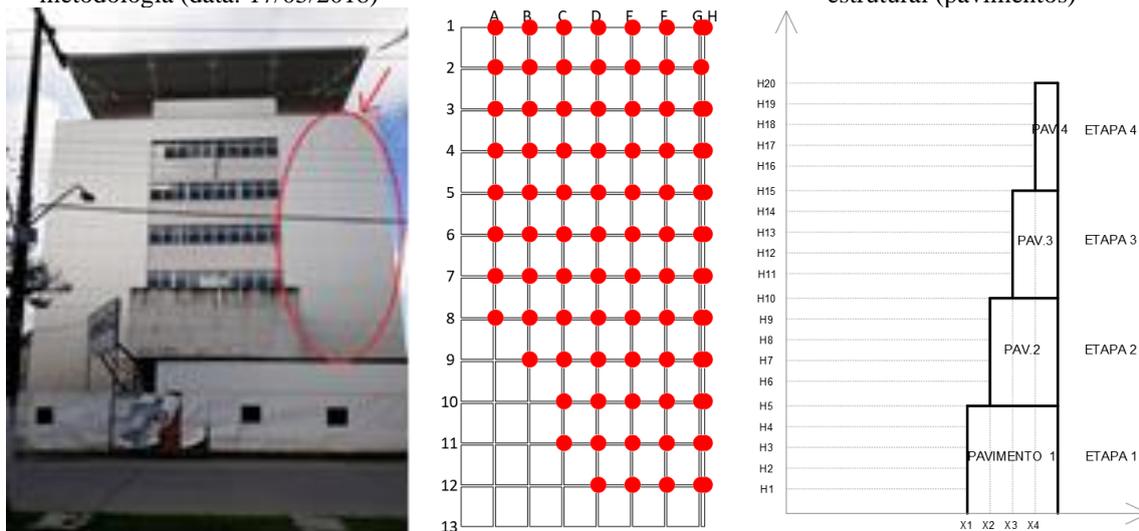
Para a determinação das coordenadas, criou-se um sistema local arbitrário $x'y'$, onde o ponto EST-A foi tomado como referência (0,0) e a segunda estação considerada foi a EST-B (Figura 3d), que teve suas coordenadas ($x'_B=5,9003$ m, $y'_B=2,6993$ m, $H_B=10,2058$ m) determinadas pelo método da irradiação a partir de EST-A. Os quatro pontos medidos a partir de um segundo ponto estacionado (EST-B), permitiu a aplicação da técnica de interseção a vante 3D.

3.1.2 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS-OBJETO DE FACHADA EM ACM

Na determinação de pontos-objeto de Fachada aborda-se como as técnicas de irradiação 3D, nivelamento trigonométrico e de interseção a vante podem auxiliar na determinação de coordenadas planimétricas e altimétricas de pontos distribuídos em superfícies tomadas como planas e verticais. Para fins de definição de uma metodologia, o estudo foi feito apenas em parte dessa fachada.

Definiu-se os pontos a serem medidos na fachada (Figura 4a) revestida por painéis de ACM, determinando a malha a ser trabalhada pela junta entre as placas. A Figura 4b ilustra a identificação dos 93 vértices coletados. A utilização do vértice da malha para medição é uma alternativa para reduzir custos e tempo, ao invés do uso de alvos refletores (adesivos) nos pontos de monitoramento. Quando na fase estrutural da edificação, as fachadas devem ser medidas por pavimentos, principalmente quando apresentarem recuos ou avanço (Figura 4c).

Figura 4 – Fachada, malha de identificação do monitoramento e fases estrutural da edificação.
 (a) Trecho da aplicação da metodologia (data: 17/05/2018)
 (b) Croqui da malha
 (c) Exemplo de etapas da fase estrutural (pavimentos)



Fonte: Santos (2019).

A superfície plana vertical (fachada) teve sua planimetria e altitudes medidas por meio da técnica de irradiação 3D sem a utilização de prisma, a partir dos pontos estacionados FACH1, FACH2 e FACH3 (cf. item 3.1.2). O nivelamento trigonométrico permitiu a determinação das altitudes ortométricas por meio da irradiação 3D, sem utilização de prisma ou adesivo refletor. Desta forma, a partir dos 3 pontos que tiveram suas coordenadas determinadas por interseção a ré (cf. item 3.1), e foram utilizados para a irradiação 3D (simples, dupla e tripla) dos pontos-objeto da fachada e a partir destes dados coletados, foi possível identificar 51 pontos-objeto levantados em comum destas 3 estações, sendo assim utilizados para o cálculo das coordenadas por interseção a vante 3D, aplicando-se o ajustamento pelo MMQ e com estações em FACH1 e FACH2, em FACH1 e FACH3, e em FACH2 e FACH3. Como existiram pontos em comum, sinalizados a partir das placas em ACM, foi possível utilizar os dados levantados por meio da irradiação 3D, realizada sem a utilização de prisma, e aplicar para o método de interseção a vante. Ressalta-se que neste caso as medições de irradiação 3D foram realizadas sucessivamente, mas é possível em se dispendo de mais de uma estação total realizar o procedimento simultaneamente. Para estações totais robotizadas existe também a possibilidade de definir malhas de pontos sobre a superfície de medição e assim realizar o procedimento de análise de superfícies.

3.2 Análise da planeza horizontal e vertical

Para a análise da planeza horizontal o tratamento dos dados se deu por meio de 3 testes estatísticos: ANOVA, teste t para dados com mesma variância e teste t para dados com variâncias diferentes, por meio do *software* AstGeoTop, utilizando o módulo “Análise de grupos amostrais – versão 2014.09.08”, entre esses métodos. Em todos os casos, adotou-se nível de confiança de 95%. Para a análise dos pontos coletados no quadriculado/reticulado, primeiramente, a análise cumpriu-se para os 4 pontos extremos, comparando os dados das altitudes ortométricas obtidas pelos métodos: por nivelamento trigonométrico com estação em EST-A, em EST-B, pela média dos nivelamentos trigonométricos, por interseção a vante espacial (3D) e por nivelamento geométrico. E em seguida a análise cumpriu-se para os 16 pontos coletados do quadriculado, os dados de entrada no *software* correspondem às altitudes (H) obtidas por nivelamento trigonométrico estacionado em EST-A, e por nivelamento geométrico.

Para a análise da planeza vertical dos pontos coletados da fachada, os dados de entrada (51 dados em comum) no *software* AstGeoTop correspondem às altitudes (H) obtidas: obtidos por irradiação 3D com estação total instalada nos vértices FACH-1, em FACH-2, em FACH-3, e em seguida calculados também por interseção a vante espacial (3D) com estações em FACH1 e FACH2, em FACH1 e FACH3, e em FACH2 e FACH3. Sendo a ANOVA um teste para a igualdade de médias que utiliza variância para a tomada de decisões,

testou-se as médias populacionais com base na estatística F, com nível de significância de 5%. O módulo de análise estatística ANOVA, exibe os dados de entrada e o relatório de conclusão da análise das diferenças.

3.3 Determinação do plano horizontal/vertical mais próximo dos dados

Com a finalidade de determinar o plano horizontal do quadriculado/reticulado (*hall* de entrada) mais próximo da realidade, considerou-se apenas as altitudes ortométricas (H) provindas da irradiação do nivelamento geométrico. Para as coordenadas arbitradas x',y' considerou-se as irradiações da estação total quando estacionada em EST-A. Aplicou-se o modelo de regressão linear múltipla que resultou nos coeficientes de $Y=a+b_1 \cdot X_1+b_2 \cdot X_2$, para o intercepto do eixo Y (a), coeficiente angular da variável X_1 (b_1) e coeficiente angular da variável X_2 (b_2).

Com a finalidade de determinar o plano vertical da fachada revestida em ACM mais próximo da realidade, considerou-se as coordenadas tridimensionais determinadas com a estação total. Com o universo de 93 pontos coletados, este trabalho propõe a estipulação de um número mínimo de pontos necessários para definir a planeza em fachadas, e/ou superfícies verticais de modo geral. Para fins de comparação, considerou-se apenas os dados em comum, que são 51, entre as metodologias aplicadas. Assim, para o estudo da redução de coleta de pontos, a consideração da quantidade de coordenadas tridimensionais foi realizada três vezes, com: 51, 25, e 12 pontos. Assim, o tempo de coleta se reduz de 12h para 6,58h, 3,35h e 1,55h, respectivamente. Os pontos escolhidos para a amostra visam abranger a extremidade do plano e seu centro. O modelo de regressão linear múltipla gerou os respectivos coeficientes. Recalculando-se os valores das coordenadas (x,y,H) para cada ponto da malha da fachada (51 pontos) após a aplicação da equação de regressão, é possível obter o plano da fachada que mais se ajusta aos dados observados.

3.4 Determinação da inclinação do plano vertical

De posse da equação do plano vertical da fachada que mais se aproxima da realidade, é possível saber o ângulo que esta superfície faz com a vertical do lugar, por meio do coeficiente angular b_2 . Para a irradiação 3D provinda de FACH-1, determinou-se os valores máximos e mínimos de altitude ortométrica e para uma diferença vertical (máxima diferença de altitude) entre os pontos extremos da malha vertical, tem-se em termo de mapeamento de fachada, para a construção civil, os valores de inclinação dados pela resolução de triângulo retângulo, utilizando-se dos ângulos verticais provindos dos coeficientes b_2 .

Para fins de ratificação, outra maneira de determinação da inclinação do referido plano vertical, dá-se pela determinação da épura e seu traço vertical do plano, determinando a reta formada pela interseção do plano em estudo com o plano de projeção vertical, na épura.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos na determinação dos pontos de referência e dos pontos-objeto, além da análise de superfícies no piso do *hall* de entrada e na fachada de revestimento estão descritos a seguir.

4.1 Determinação dos pontos de referência e determinação dos pontos-objeto (piso do *hall* de entrada e fachada de revestimento)

A Tabela 2 apresenta as coordenadas planas ajustadas dos vértices da poligonal implantada satisfazendo a classe IIP, NBR 13133(ABNT,1994), em que os erros calculados angular e linear foram, respectivamente, 41" e 52mm e precisão linear relativa de 1/16.018 para o comprimento (perímetro) total de 847,747 m.

Os menores desvios padrão para os pontos da poligonal em "x" e em "y" são $\pm 0,004$ m e $\pm 0,015$, respectivamente, ambos para o ponto P1. Os maiores valores são $\pm 0,016$ m (P3) e $\pm 0,020$ m (RN-D) para "x" e "y", respectivamente.

A Tabela 3 apresenta as altitudes ortométricas ajustadas para as Referências de Nível utilizadas neste trabalho próximas as áreas de medição. O erro de fechamento calculado foi de -0,0034 m para o comprimento

de circuito de 120,00 m, classificando a rede na classe IN de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), com precisão 5 mm/km (Tabela 3).

Adotando-se o valor inicial de $8,5745 \pm 1,7$ mm para a altitude da RN-LITPEG01 (Tabela 3), valor esse extraído do primeiro nivelamento-contranivelamento, realizou-se o transporte altimétrico para AUX04. O erro de fechamento foi de -0,0008 m para o comprimento de circuito de 62,07 m, com uma precisão de 1,5 mm/km (Tabela 4).

Tabela 2 - Coordenadas: pontos da poligonal.

Vértice	x (m)	Sigma_x (m)	y (m)	Sigma_y (m)
EPS-04	149.811,215	0,000	249.927,136	0,000
P01	149.779,785	±0,004	249.809,816	±0,015
RN-A	149.765,528	±0,005	249.694,622	±0,019
RN-D	149.759,103	±0,006	249.634,945	±0,020
P02	149.806,124	±0,013	249.598,229	±0,019
P03	149.855,101	±0,016	249.609,824	±0,019
P04	149.912,300	±0,014	249.633,132	±0,019
P05	149.908,090	±0,014	249.704,476	±0,016
P06	149.790,583	±0,004	249.745,947	±0,015

Fonte: AstGeoTop (GARNÉS, 2020).

Tabela 3 - Altitudes ortométricas ajustadas (1° niv. geométrico).

PONTO	Excel	AstGeoTop		Discrepância (m)
	H (m)	H (m)	σ (mm)	
RN-A	9,1004	9,1002	± 1,2	0,0002
RN-LITPEG01	8,5747	8,5745	± 1,7	0,0002

Fonte: Santos (2019).

Tabela 4 - Altitudes ortométricas ajustadas (2° niv. geométrico).

PONTO	Excel	AstGeoTop		Discrepância (m)
	H (m)	H (m)	σ (mm)	
AUX-04	9,3480	9,3479	± 0,4	0,0001

Fonte: Santos (2019).

A Tabela 5 apresenta os valores das altitudes ortométricas dos pontos distribuídos no *hall* de entrada obtidos pelos métodos aplicados (cf. item 3.1.1).

Tabela 5 - Altitudes ortométricas (H) dos pontos do quadriculado.

Ponto	Niv. geom. Simples (m)	Niv. trig. por EST-A (m)	Niv. trig. por EST-B (m)	Interseção a vante 3D (m)
Q(1,1)	9,435	9,434	9,437	9,436
Q(1,2)	9,431	9,429	-	-
Q(1,3)	9,426	9,425	-	-
Q(1,4)	9,427	9,427	9,430	9,428
Q(2,1)	9,434	9,432	-	-
Q(2,2)	9,428	9,427	-	-
Q(2,3)	9,425	9,424	-	-
Q(2,4)	9,427	9,425	-	-
Q(3,1)	9,431	9,430	-	-
Q(3,2)	9,430	9,429	-	-
Q(3,3)	9,426	9,424	-	-
Q(3,4)	9,427	9,425	-	-
Q(4,1)	9,431	9,430	9,432	9,431
Q(4,2)	9,431	9,430	-	-
Q(4,3)	9,427	9,426	-	-
Q(4,4)	9,427	9,426	9,429	9,428

Fonte: Santos (2019).

4.2 Análise de superfícies

Neste item apresenta-se os resultados e discussões referentes aos objetos de estudos, abordando a análise das superfícies (horizontal e vertical), regressão linear múltipla, e cálculo da inclinação do plano vertical. Foram realizadas análises estatísticas quanto aos dados dispostos para as altitudes ortométricas obtidas para a planeza horizontal do piso/laje e coordenadas planas para a planeza vertical da fachada.

4.2.1 PLANEZA HORIZONTAL

O Quadro 2 apresenta a análise dos pontos coletados no quadriculado/reticulado, que se cumpriu primeiramente para os 4 pontos extremos. As respectivas altitudes dos pontos estão descritas da (Tabela 5).

Desta forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para o nível de significância de 5%. Para fins de ratificação desta análise estatística, os dados foram também testados dois a dois (teste t), considerando primeiramente que não há diferença nas variâncias testadas, e em seguida com a possibilidade de variâncias das amostras diferentes. Para as análises realizadas com o teste t, também não houve diferença ao nível de significância de 5%.

Recomenda-se, em trabalhos cotidianos pelas equivalências dos resultados, que as medições possam ser realizadas por apenas um método. Sendo a irradiação 3D a técnica escolhida para levantamentos de superfícies, pela sua praticidade, com no mínimo duas séries para verificação de possíveis erros grosseiros.

Quadro 2 - Análise estatística ANOVA: quadriculado com 4 pontos.

DADOS DE ENTRADA					
Ponto	NIV.TRIG.A (m)	NIV.TRIG.B (m)	NIV.TRIG.A,B (m)	VANTE 3D (m)	NIV.GEOM. (m)
Q(1,1)	9,434	9,437	9,436	9,436	9,435
Q(1,4)	9,427	9,430	9,428	9,428	9,427
Q(4,1)	9,430	9,432	9,431	9,431	9,431
Q(4,4)	9,426	9,429	9,428	9,428	9,427
DADOS DE SAÍDA					
Fonte de variação	S.Q.	GL	Q.M.	Estat-F	F-crítico
Entre Grupos	0,000	4	0,000	0,324	3,056
Dentro dos Grupos	0,000	15	0,000		
Total	0,000	19			

Fonte: AstGeoTop (GARNÉS, 2020).

4.2.2 PLANEZA VERTICAL

O Quadro 3 apresenta o resultado da análise estatística ANOVA com a utilização dos 51 pontos-objeto levantados em comum considerando os dados da irradiação 3D e os possíveis casos de interseção a vante espacial (3D) apresentados no item 3.1.2.

Quadro 3 - Análise estatística ANOVA para fachada.

Fonte de variação	S.Q.	GL	Q.M.	Estat-F	F-crítico
Entre Grupos	2,280	5	0,456	0,012	2,244
Dentro dos Grupos	11416,424	300	38,055		
Total	11418,704	305			

Fonte: AstGeoTop (GARNÉS, 2020).

Desta forma, conclui-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para o nível de significância de 5%. Para fins de ratificação desta análise estatística, os dados foram também testados dois a dois (teste t), considerando primeiramente que não há diferença nas variâncias testadas, e em seguida com a possibilidade de variâncias das amostras diferentes. Nesta forma de análise, também se constatou que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para o nível de significância de 5%.

Pode-se sugerir então que as medições sejam aplicadas utilizando-se de apenas um método. Sendo a irradiação 3D a técnica escolhida, pelo mesmo motivo descrito anteriormente.

4.2.3 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Com a finalidade de determinar o plano horizontal/vertical mais próximo dos dados, utilizou-se apenas os dados de uma das técnicas apresentadas, devido não haver diferenças significativas entre os dados obtidos, conforme apresentado nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.2.3.1 Planeza Horizontal

A aplicação do modelo de regressão linear múltipla (Tabela 6) a partir das coordenadas 3D do quadriculado e das altitudes ortométricas, resultou nos seguintes coeficientes ($Y=a+b_1 \cdot X_1+b_2 \cdot X_2$): 9,4281, -0,0017 e 0,0003, respectivamente, para o intercepto do eixo Y (a), coeficiente angular da variável X_1 (b_1) e coeficiente angular da variável X_2 (b_2). A Figura 5 mostra o plano gerado pela regressão linear múltipla do quadriculado.

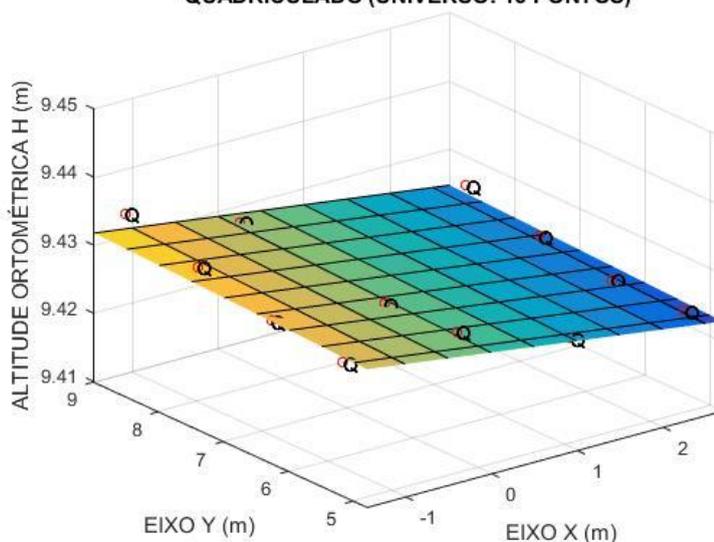
Nota-se que o maior valor da discrepância máxima e mínima para o piso de granito é de $\epsilon = 3\text{mm}$, o que se pode considerar um valor “alto”, fora do usual para uma área não molhável/molhada, apesar de não existirem normas que determinem essa dissonância. Ressalta-se que a mira utilizada foi uma mira de alumínio com nível esférico para sua verticalização (nível de cantoneira) e que a mira é de encaixe. Descartando-se os pontos Q(1,1) e Q(2,3), observa-se que os resultados de discrepâncias obtidos variam em módulo de 0,3mm a 1,9mm.

Tabela 6 - Coordenadas 3D do quadriculado e altitudes ortométricas pela regressão linear múltipla.

Ponto	x' (m)	y' (m)	H (m)	Hregressão (m)	ϵ (m)
Q(1,1)	-1,140	8,919	9,435	9,433	0,002
Q(1,2)	0,109	8,811	9,431	9,430	0,001
Q(1,3)	1,358	8,723	9,426	9,428	-0,002
Q(1,4)	2,607	8,624	9,427	9,426	0,001
Q(2,1)	-1,243	7,674	9,434	9,432	0,002
Q(2,2)	0,009	7,565	9,428	9,430	-0,002
Q(2,3)	1,258	7,467	9,425	9,428	-0,003
Q(2,4)	2,507	7,368	9,427	9,426	0,001
Q(3,1)	-1,336	6,416	9,431	9,432	-0,001
Q(3,2)	-0,090	6,318	9,430	9,430	0,000
Q(3,3)	1,159	6,219	9,426	9,428	-0,002
Q(3,4)	2,409	6,121	9,427	9,426	0,001
Q(4,1)	-1,439	5,167	9,431	9,432	-0,001
Q(4,2)	-0,187	5,075	9,431	9,430	0,001
Q(4,3)	1,060	4,976	9,427	9,428	-0,001
Q(4,4)	2,305	4,866	9,427	9,426	0,001

Fonte: Santos (2019).

Figura 5 - Plano do hall (regressão).
QUADRICULADO (UNIVERSO: 16 PONTOS)



Fonte: Santos (2019).

4.2.3.2 Planeza Vertical

A determinação do plano vertical da fachada revestida em ACM mais próximo da realidade, foi

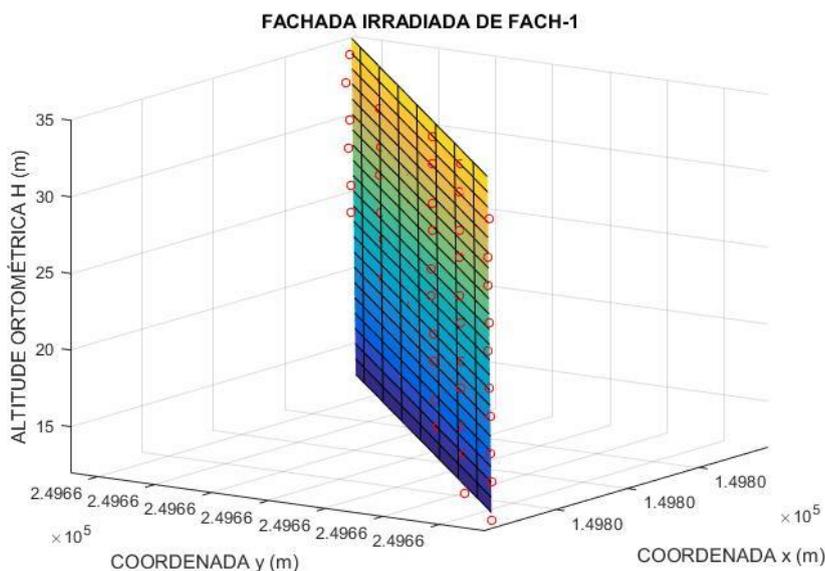
realizada apenas com os dados de uma das técnicas apresentadas, devido não haver diferenças significativas entre os valores obtidos, conforme observado no subitem 4.2.2. Desta forma, considerou-se apenas as coordenadas tridimensionais providas da irradiação 3D quando a estação total está estacionada em FACH-1. O modelo de regressão linear múltipla gerou os coeficientes apresentados na Tabela 7. Recalculando-se os valores das coordenadas (x,y,H) para cada ponto da malha da fachada (51 pontos) após a aplicação da equação de regressão, é possível obter o plano da fachada que mais se ajusta aos dados observados, conforme Figura 6.

Tabela 7 - Coeficientes do plano vertical da fachada.

Coef.	51 pontos	26 pontos	12 pontos	
a	123098,6940	123055,4451	123152,6579	intercepta eixo Y
b ₁	0,1070	0,1071	0,1067	coef. angular de X1
b ₂	-0,0005	-0,0005	-0,0007	coef. angular de X2

Fonte: Santos (2019).

Figura 6 - Plano da fachada (regressão dos 51 pontos).



Fonte: Santos (2019).

4.2.4 INCLINAÇÃO DO PLANO VERTICAL

Utilizando-se dos resultados da irradiação 3D provida de FACH-1, os valores máximos e mínimos de altitude ortométrica são 34,014 m (ponto A2) e 12,441 m (ponto E12), respectivamente. Desta forma, para uma diferença vertical de 21,573 m (máxima diferença de altitude) entre A2 e E12, tem-se em termo de mapeamento de fachada, para a construção civil, os valores de inclinação dados pela resolução de triângulo retângulo, utilizando-se dos ângulos verticais providos dos coeficientes b₂, como descrito no item 3.4.

A Tabela 8 mostra os valores obtidos a respeito da inclinação do plano trabalhado, dado como vertical. Sendo os valores de “b₂” obtidos por meio da regressão linear múltipla (Tabela 7) para 51, 26 e 12 pontos, e “b₂” obtido através da écura para 4 pontos. Para fins de exemplificação, escolheu-se o cálculo da écura para os pontos A2, A7, F3 e F12.

Demonstra-se, assim, que para a determinação da inclinação do plano, é possível trabalhar com uma quantidade mínima de pontos igual a quatro.

Tabela 8 - Mapeamento de fachada (cm).

	Coeficiente b ₂	Desvio vertical (ArcoTangente b ₂)	Inclinação (cm)
51 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,1 cm
26 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,1 cm
12 pontos	-0,0007	- 0° 2' 24,39"	1,5 cm
4 pontos	-0,0005	- 0° 1' 43,13"	1,1 cm

Fonte: Santos (2019).

5 CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade das observações e a análise de superfícies seguiram o método dos mínimos quadrados, aplicando-se o modelo paramétrico. A análise de superfícies foi realizada a partir da análise de variância (ANOVA) e aplicando-se a regressão linear. Foram realizadas análises estatísticas para a comparação de metodologias de medição.

Os resultados alcançados demonstram que independentemente dos métodos utilizados, as qualidades das observações foram atingidas para cada experimento realizado, pois em todas as análises estatísticas concluiu-se que não há diferença significativa entre os dados obtidos, para uma significância de 5%. Este permite concluir que os resultados obtidos não diferem entre si ao nível de confiança de 95% para as metodologias utilizadas, sendo assim, a técnica de irradiação 3D, por ser mais simples e rápida, atende aos resultados, quando as regressões lineares são aplicadas. Ressalta-se que estes pontos devem ser determinados com pelo menos duas séries de medições para detectar erros grosseiros nas medições.

Realizou-se uma análise da redução desses pontos, a fim de conhecer a quantidade mínima suficiente para que a equação do plano ($Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2$) apresente-se de forma semelhante aos coeficientes do universo da coleta desse trabalho. Observa-se que a equação da regressão linear múltipla se mostrou como o esperado para o plano vertical. Conclui-se, então, que a determinação de um plano obtido por métodos topográficos pode ser sim aplicada para o acompanhamento da estrutura de uma obra. Os dados obtidos desse trabalho demonstram para este caso, que a determinação da planitude vertical pode ser obtida apenas considerando-se os pontos provindos de uma das técnicas, que é a irradiação 3D.

O emprego de tecnologias geodésicas pode ser algo esperado de construtoras. Visto que resultados positivos de maior confiabilidade na verificação da verticalização da edificação e planeza das lajes/pisos podem resultar em maior confiabilidade e redução de custo.

Neste trabalho foi proposta uma metodologia alternativa em substituição aos procedimentos tradicionais da construção civil que permita o atendimento dessa análise, de forma a acompanhar o desenvolvimento da construção e verificar em tempo hábil a planeza de pisos/lajes e a prumagem de fachadas, permitindo sua correção quando necessária, diminuindo assim, os custos envolvidos.

Atualmente o levantamento topográfico com o emprego de Drones vem sendo bastante discutido. Os procedimentos utilizados neste trabalho poderão ser utilizados para a avaliação da eficácia do emprego desta tecnologia no mapeamento de fachadas e de estruturas de edificações prediais.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG) da UFPE e à CAPES pela realização do Curso de Pós-Graduação e ao Projeto de Pesquisa Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG/CTG/UFPE - continuação processo nº 23076.016133/2018-57.

Aos professores Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés, Dr. Tiago Leite Rolim e Dr^a. Yêda Vieira Póvoas, pelo suporte na análise dos dados, fornecimento da licença de software e auxílio na redação do artigo.

Contribuição dos Autores

As autoras Andréa de Seixas e Catarina Maria Ribeiro dos Santos, declaram ser responsáveis pela elaboração do manuscrito intitulado “A Medição e Análise de Prumagem e Planeza na Construção de Fachadas e Pisos/Lajes de Edifícios”, incluindo elaboração do projeto, coleta de dados, análise dos dados e redação do artigo. Silvio Jacks dos Anjos Garnés pelo suporte na análise dos dados e fornecimento da licença de software. Yêda Vieira Póvoas adequações metodológicas e auxílio na redação do artigo.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- ALVES, S. S. O. **Investigação laboratorial de uma abordagem estatística baseada em planos de controle aplicados ao monitoramento de estruturas com varredura laser terrestre**, 102 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133**: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14645-1**: Elaboração do “como construído” (as built) para edificações Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25 000 m², para fins de estudos, projetos e edificação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- BARBARELLA, M.; D’AMICO, F.; BLASIIS, M. R. DE, BENEDETTO, A. D.; FIANI, M.. Use of Terrestrial Laser Scanner for Rigid Airport Pavement Management. *Sensors*, v. 18, n. 2, p.44-65, 26 dez. 2017. MDPI AG. DOI.: 10.3390/s18010044.
- BOTELHO, F. J. L. **Métodos geodésicos para racionalização construtiva no posicionamento preciso de edificações prediais**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- BRASIL. Norma Regulamentadora. NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Alteração Portaria MTb n.º 261, de 18 de abril de 2018.
- COSTA, A. B.; CABRAL, F. C. F. Textos de laboratório - teoria de erros - física I. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Departamento de Geomática/UFPR, Curitiba, 2002.
- GARNÉS, S. J. A.; SAMPAIO, R. J. B. de.; DALMOLIN, Q. Ajustamento paramétrico por mínimos quadrados com análise na estabilidade da solução. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v.2, p.24-35, 1997.
- GARNÉS, S. J. A. AstGeoTop (Astronomia Geodésia Topografia 1995 - 2020). *Software*. Departamento de Eng. Cartográfica. Centro de Tecnologias e Geociências. UFPE, 2020.
- GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações**: Aplicações Geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 1994.
- INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO (IAU). USP. SÃO CARLOS. disponível em <http://www.iau.usp.br>. Acesso em: 2017.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1101:2017. Geometrical Product Specifications (GPS) -geometrical tolerancing- tolerances of form, orientation, location and run-out. 2017.
- JAAFAR, H. A.; MENG, X.; SOWTER, A. **Health monitoring of historic ruins and heritage buildings using terrestrial laser scanning and Generalised Procrustes Analysis**. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HERITAGE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. 2016.
- KAHMEN, H. *Angewandete Geodaesie: Vermessungskunde*. Editora: De Gruyter. 2. ed., 2006.
- LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- MARQUES, J. M. **Curso de Engenharia Cartográfica: Estatística**. Diretório acadêmico de Eng. Cartográfica. União e Realização. Departamento do Livro. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994.
- MENDONÇA, F. J. B. M.; GARNÉS, S. J. A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D. A. **Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos UTM e topocêntrico**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação,3.

Anais. Recife - PE, 27-30 de Julho, 2010.

- MILITO, J. A. **Técnicas de construção civil**. 2009. Notas de aula. Disponível em: <http://demilito.com.br/apostila.html>. Acesso em: 14 fev. 2019.
- MIKHAIL, E. M.; GRACIE, G. **Análisis and adjustment of survey measurements**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.
- MOREIRAS, S. T. F.; PARAGUASSÚ, A. B. **Viabilidade do uso de placas de granito como lajes em edificações**. Periódico científico. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. 2012.
- MOTTA, J. F. M., CABRAL JUNIOR, M., TANNO, L. C. Panorama das matérias-primas utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos: desafios ao setor produtivo. **Revista cerâmica industrial**. SP. 1998.
- OLIVEIRA FILHO, M. L. **A Utilização da Regressão Linear Como Ferramenta Estratégica Para a Projeção dos Custos Produção**. In: Congresso Brasileiro de Custos, 9. Anais. São Paulo, SP, Brasil. 2002.
- SANTOS, C. M. R. **A geodésia aplicada à medição e análise de superfícies: estudo de caso na construção civil**. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- SEIXAS, A. de; A.; SEIXAS, J. R. de. **Relatório técnico-medição L19-28/03/2019**. Controle e Monitoramento de Recalques-Edifício Construído do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG/CTG/UFPE.
- SILVA, E. V.; SEIXAS, A. DE. O estabelecimento de padrões de referência metrológica: controle e análise da qualidade de estruturas geodésicas altimétricas implantadas no campus Recife da UFPE. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 69, n. 9, 2017.
- SILVA, G. P.; SEIXAS, A. DE; GARNÉS, S. J. A.; ROMÃO, V. M. C. Definição do sistema de referência para a locação de edificações prediais – área experimental: bairro da Madalena, Recife – PE. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), v. 2, p. 445-463, 2015.
- SILVA, I. DA; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia - teoria e prática de geomática**. 4ª Edição. Editora Elsevier. 2015.
- SILVA, T. F.; SEIXAS, A. de; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de campo de pontos na medição de deformação de objetos**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 1. Recife – Pe, 2004. 7p.
- SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. PINI. São Paulo. CTE - Centro de Tecnologia de Edificações. 1997.
- SOUZA, U. E. L. de. **Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão de consumo de materiais na construção civil**. 1ed. São Paulo: PINI, 2005.

Biografia do autor principal



Catarina Maria Ribeiro dos Santos, natural de Recife-PE. Engenheira Cartógrafa formada pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação pela mesma instituição. Tem interesse de pesquisa nas áreas de Cadastro, Topografia e Geodésia.



Esta obra está licenciado com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.