Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTAÇÃO TOTAL E SISTEMA GNSS PARA MONITORAMENTO GEODÉSICO DE ESTRUTURAS

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN A TOTAL STATION AND GNSS SYSTEMS FOR GEODETIC MONITORING OF STRUCTURES

Patrick Cunha Neukan, Valentina Louize Vidal Bezerra, Jhonnes Alberto Vaz

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: patrickcn.uni@gmail.br

RESUMO – Diante do desenvolvimento da sociedade, houve a evolução análoga da Engenharia Civil, acometida pela manutenção das necessidades humanas. Por conseguinte, a construção de estruturas complexas, requerendo vãos maiores, materiais modernos, e cálculos precisos, tornou áreas como a topografia objeto de discussão na sociedade contemporânea. Assim, estudos acerca do monitoramento de estruturas foram cruciais para entendimento e previsão do comportamento destas, justificando a análise comparativa entre o uso de estação total e sistema GNSS para o monitoramento de estruturas. Esse artigo apresenta uma revisão da literatura com o objetivo de comparar métodos geodésicos de monitoramento de estruturas a partir do uso de Estação Total e GNSS.

Palavras-chave: Monitoramento geodésico; Engenharia civil; Estação Total; GNSS; Estruturas.

ABSTRACT – Along society's development, Civil Engineering has evolved to meet increasing human demands, enabling the construction of complex structures with larger spans, modern materials, and precise calculations. In this context, topography has gained prominence, especially in structural monitoring. This study aims to comparatively analyze the use of total station and GNSS systems for monitoring structures. The methodology involves evaluating accuracy, applicability, and efficiency of both techniques. The results indicate that each method presents specific advantages depending on the scenario, contributing to more reliable monitoring. It is concluded that the combined or appropriate use of these technologies enhances structural analysis and decision-making.

Keywords: Geodetic monitoring; Civil engineering; Total Station; GNSS; Structures.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações, o ser humano desenvolve soluções para modificar e aprimorar o ambiente ao seu redor, processo intensificado com o avanço da Engenharia Civil. A construção de estruturas de diferentes portes e complexidades, como pontes, edifícios, barragens e taludes, evidencia a necessidade de técnicas que garantam sua segurança e desempenho ao longo do tempo.

Nesse contexto, o monitoramento geodésico de estruturas destaca-se como uma ferramenta essencial, pois possibilita acompanhar o comportamento das construções diante de esforços, cargas e condições ambientais variáveis. Por meio dele, é possível identificar deslocamentos, deformações e outras alterações que, embora inicialmente imperceptíveis, podem comprometer a integridade estrutural.

Com o avanço tecnológico, instrumentos como Estações Totais automatizadas e sistemas GNSS passaram a desempenhar papel fundamental nesse processo, permitindo detectar movimentos milimétricos com elevada precisão. No contexto brasileiro, essa importância também é respaldada por instrumentos legais e normativos, como a Lei nº 12.334/2010, que institui a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e a ABNT NBR 9452:2023, que estabelece procedimentos para a inspeção de pontes, viadutos e passarelas. Segundo Silva e Fortes (2013), estruturas como barragens, pontes, edifícios e torres estão sujeitas a ações externas, como variações térmicas, recalques do solo, vibrações e pressões, que, quando não acompanhadas adequadamente, podem resultar em danos significativos, tal qual o rompimento da barragem de Brumadinho, em que, segundo a ANM (2019), foram identificadas movimentações anômalas antes do colapso, evidenciando a importância do monitoramento e da análise contínua de pequenas deformações para a identificação antecipada de situações de risco.

Diante desse cenário, surge a seguinte questão de pesquisa: como as tecnologias de Estação Total e sistemas GNSS se comparam em termos de precisão, eficiência e aplicabilidade no monitoramento de estruturas? Parte-se da hipótese de que ambas apresentam vantagens e limitações específicas, sendo sua utilização mais adequada conforme as características da estrutura, as condições do ambiente, recursos financeiros e os objetivos do monitoramento.

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a aplicação do monitoramento geodésico em estruturas de engenharia. Como objetivos específicos, busca-se apresentar seus

ISSN 2317-1316

fundamentos, discutir sua importância, descrever e comparar as tecnologias de Estação Total e GNSS, bem como avaliar suas vantagens, limitações e aplicações em diferentes contextos da engenharia civil. Para isso, adotou-se uma abordagem baseada em revisão bibliográfica e análise comparativa dos métodos estudados.

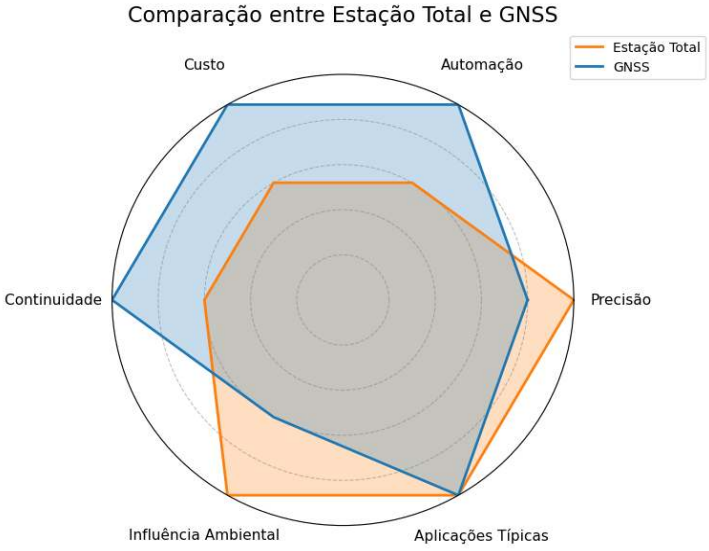
No artigo, destaca-se a comparação entre os dois sistemas de monitoramento mencionados, compreendendo suas diferenças, utilizações, e culminando em um resultado discutido a partir das evidências bibliográficas levantadas na elaboração da pesquisa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo revisão bibliográfica. A escolha dessa abordagem se justifica pela necessidade de compreender e analisar o monitoramento de estruturas a partir de informações já consolidadas na literatura técnica e científica, com foco nos métodos geodésicos e estruturais, especialmente na Estação Total e nos sistemas GNSS.

A Estação Total, é um equipamento que contém um teodolito (instrumento para medição de ângulos horizontais e verticais), medidor eletrônico de distância (MED), caderneta eletrônica e processador de dados.

Figura 1: Comparação de critérios da Estação Total e GNSS.



Fonte: Elaborado pelos autores.

ISSN 2317-1316

Já o Sistema Global de Navegação por Satélite é um termo utilizado para descrever os sistemas que fornecem serviços de navegação, posicionamento e sincronização de tempo, em tempo real. Essa complementaridade entre os métodos também pode ser visualizada no gráfico presente na Figura 1, que compara Estação Total e GNSS, evidenciando como cada tecnologia se destaca em diferentes aspectos, reforçando a viabilidade do uso integrado.

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos, normas técnicas e materiais acadêmicos disponíveis em plataformas digitais. Foram utilizadas obras relevantes nas áreas de topografia, geodésia e engenharia geotécnica, incluindo autores que abordam o monitoramento estrutural, a instrumentação geotécnica e o uso de tecnologias aplicadas à engenharia civil. Também foram considerados materiais complementares, como conteúdos técnicos e recursos audiovisuais, que contribuíram para ampliar a compreensão dos métodos analisados.

Os critérios de seleção das fontes levaram em consideração a relevância do conteúdo em relação ao tema proposto, a confiabilidade das informações, a clareza na abordagem e a contribuição para o desenvolvimento da pesquisa. Dessa forma, foram priorizados estudos que apresentassem aplicações práticas dos métodos de monitoramento, bem como análises comparativas entre diferentes técnicas e instrumentos.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa e comparativa. Inicialmente, os conteúdos foram organizados em categorias, separando os métodos estruturais e os métodos geodésicos, conforme suas características e formas de aplicação. Em seguida, foi realizada uma análise individual de cada método, considerando aspectos como tipo de medição, precisão, custo, abrangência espacial, frequência de aquisição de dados e influência de fatores ambientais.

Com base nessa organização, foi desenvolvida uma análise comparativa entre as principais tecnologias abordadas, com ênfase na Estação Total e nos sistemas GNSS. Essa comparação considerou suas vantagens, limitações e aplicabilidades em diferentes tipos de estruturas, permitindo uma avaliação mais clara de seu desempenho em contextos distintos. Para sintetizar as principais diferenças operacionais entre essas duas abordagens de monitoramento, elaborou-se a Tabela 1.

ISSN 2317-1316

Tabela 1: Relação Comparativa de Métodos de Monitoramento

	Geodésicos (Estação Total ou GNSS)	**Estruturais Extensômetros, Inclinômetros, Piezômetros**
Escala de Medição	Mede deslocamento absoluto dentro de sistema de coordenadas	Mede deformação relativa entre pontos da estrutura
Precisão	Alta(mm/cm)	Extremamente alta (até 0,01mm)
Frequência de Aquisição	GNSS: Continuamente E. Total: Em intervalos	Medem alta frequência
Automação	GNSS: Sim E.Total: Parcial	Naturalmente automatizado
Custo	Caro, porém, menor uso	Unitariamente barato(em comparação), mas necessário o uso de múltiplos sensores
Abrangência Espacial	Grande alcance, áreas maiores	Alcance menor, áreas específicas
Robustez a Intempéries	Sensível às condições climáticas	Coberto, portanto pouco afetado por intempéries

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Yu et al. (2020), Topal e Akpınar (2024) e Zhu et al. (2016).

Dessa forma, a metodologia adotada mostrou-se adequada para atender aos objetivos propostos, possibilitando uma análise consistente e fundamentada sobre o uso dos métodos de monitoramento de estruturas, além de contribuir para a compreensão de sua aplicação na prática da engenharia civil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise bibliográfica realizada, foi possível identificar diferenças significativas entre os métodos de monitoramento geodésico, especialmente no que se refere à Estação Total e aos sistemas GNSS. Os resultados obtidos evidenciam que ambos os métodos são eficazes no acompanhamento de deslocamentos estruturais, porém apresentam comportamentos distintos quando analisados sob diferentes critérios técnicos e operacionais.

No que se refere à precisão, estudos experimentais indicam diferenças de desempenho entre a Estação Total e os sistemas GNSS. Xue et al. (2023), ao compararem receptores GNSS de baixo custo com uma Estação Total Robótica em ensaios de deslocamento vertical, avaliaram movimentos com amplitudes de aproximadamente 8 mm e 15 mm. Nos ensaios, a Estação Total apresentou valores de RMS de aproximadamente 6,0 mm e 10,2 mm, respectivamente,

ISSN 2317-1316

enquanto o receptor GNSS com solução GPS+GLONASS+Galileo apresentou RMS de aproximadamente 8,8 mm e 14,4 mm. As amplitudes estimadas pela Estação Total foram de aproximadamente 8,5 mm e 14,4 mm, enquanto o GNSS estimou 12,4 mm e 20,3 mm, evidenciando, nas condições experimentais analisadas, maior proximidade da Estação Total em relação aos deslocamentos impostos.

Em relação à continuidade do monitoramento, os sistemas GNSS se destacam por possibilitarem a aquisição contínua de dados, inclusive em altas taxas de amostragem e em tempo real. Por outro lado, a Estação Total, mesmo quando robotizada e automatizada, realiza observações de forma sequencial, permitindo o acompanhamento periódico dos pontos monitorados, com a frequência das medições dependente da configuração adotada para o sistema de monitoramento (YU et al., 2020).

Outro aspecto relevante observado refere-se à influência das condições ambientais sobre as medições. A Estação Total depende de uma linha de visada livre entre o equipamento e o ponto monitorado, podendo sofrer interferências decorrentes de obstáculos físicos e de efeitos atmosféricos sobre as medições. Já os sistemas GNSS, embora não necessitem de uma linha de visada direta entre o receptor e o ponto monitorado, dependem da adequada recepção dos sinais dos satélites e podem apresentar erros associados à obstrução, ao multipercurso e a outras fontes de interferência no sinal (GHILANI; WOLF, 2006; YU et al., 2020). Nesse contexto, Jerke, Faggion e da Cruz (2022), ao analisarem o monitoramento geodésico da UHE Mauá-PR, verificaram que condições externas relacionadas à operação da barragem influenciaram significativamente as coordenadas obtidas em determinados pontos de monitoramento, evidenciando a importância de considerar as condições do ambiente e da estrutura durante a interpretação dos resultados.

Quanto ao custo e à aplicabilidade, verificou-se que os sistemas GNSS apresentam maior custo inicial, principalmente quando utilizados em monitoramentos contínuos com alta precisão. Em contrapartida, a Estação Total tende a ser mais acessível, porém pode demandar maior intervenção operacional.

Os resultados também indicam que os métodos estruturais, como extensômetros, inclinômetros, piezômetros e acelerômetros, apresentam elevada precisão na medição de

ISSN 2317-1316

deformações internas, complementando os métodos geodésicos, que são mais voltados à análise de deslocamentos absolutos.

Além dos critérios operacionais, o comportamento dos equipamentos diante de intempéries climáticas (como chuva, névoa e variações bruscas de temperatura) é um fator decisivo. Conforme ilustrado no infográfico presente na Figura 2, os métodos estruturais, por estarem embutidos ou cobertos na estrutura, sofrem menor perda de precisão sob intempéries quando comparados aos métodos geodésicos. Estes, por estarem diretamente expostos às variações do ambiente, têm sua precisão afetada seja pelo bloqueio e distorção da linha de visada no caso da Estação Total, ou por atrasos no sinal, obstrução e multipercurso no caso do sistema GNSS.

Figura 2: Impacto das intempéries nos métodos de medição.



Fonte: Elaborado pelos autores, gerado por Inteligência Artificial, com base em Ghilani e Wolf (2006), Yu et al. (2020) e Jerke, Faggion e da Cruz (2022).

ISSN 2317-1316

De forma geral, os dados analisados demonstram que não existe um método único ideal para todas as situações, sendo a escolha dependente das características da estrutura, das condições do ambiente, dos objetivos do monitoramento e suas necessidades. Em muitos casos, a utilização combinada dos métodos geodésicos e estruturais apresenta resultados mais completos e confiáveis. A partir dessa análise, foi criada a Tabela 2, com o objetivo de destacar de forma clara as particularidades de cada tecnologia e auxiliar na escolha do método mais adequado para cada situação de monitoramento.

Tabela 2: Relação Comparativa entre Estação Total e GNSS

Critério	Estação Total robótica	Sistema GNSS
Precisão	Milimétrica; melhor desempenho em linhas curtas	Centimétrica a milimétrica; depende da qualidade dos satélites e do céu
Automação e Continuidade	Medições sequenciais; contínuo apenas com automação	Monitoramento contínuo e em tempo real (RTK)
Custo	Médio; depende do tipo e alcance do equipamento	Alto; receptores geodésicos e sistemas RTK elevam o investimento
Influência Ambiental	Requer visada direta; afetada por obstáculos e refração	Requer céu desobstruído; sensível a interferências e clima
Aplicações Típicas	Estruturas médias, áreas urbanas, edifícios, pontes	Taludes, barragens, áreas extensas, monitoramento contínuo 24h

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Yu et al. (2020), Topal e Akpınar (2024) e Zhu et al. (2016).

4 CONCLUSÃO

Partindo dos objetivos propostos pela pesquisa, conclui-se que o monitoramento contínuo de estruturas é indispensável para a engenharia civil, contribuindo diretamente para a segurança, durabilidade e eficiência das obras. A análise comparativa entre o Sistema GNSS e a Estação Total evidenciou que ambas as tecnologias são ferramentas relevantes para o levantamento geodésico, porém com aplicações distintas. A Estação Total destaca-se pela elevada precisão, sendo mais indicada para ambientes com interferências e estruturas que exigem medições detalhadas, embora dependa de linha de visada e de operador qualificado. Por outro lado, o Sistema GNSS apresenta maior flexibilidade e capacidade de monitoramento contínuo em tempo real, sendo mais adequado para áreas extensas, apesar do maior custo e da dependência de condições favoráveis de recepção dos sinais. Dessa forma, verifica-se que não existe um método universalmente superior, sendo a escolha condicionada às características da estrutura,

ISSN 2317-1316

ao entorno, ao tempo disponível e ao orçamento. Como perspectivas de trabalhos futuros, recomenda-se o aprofundamento em estudos práticos aplicados ao monitoramento de estruturas em regiões litorâneas, especialmente aquelas sujeitas a recalques e degradação do solo, além da análise da integração entre métodos geodésicos e estruturais, visando maior precisão e confiabilidade nos resultados. O estudo limita-se pela ausência de estudo analítico robusto em campo, fundamentando-se majoritariamente na literatura acadêmica acerca da área. Dessa forma, a pesquisa não relaciona fundamentalmente a Estação Total e os sistemas GNSS, mas seus resultados, dados e evidências disponíveis a partir das fontes abordadas na pesquisa.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta Gemini para elaboração da Figura 2, tendo como fonte principal texto elaborado por autores, assim como as referências bibliográficas do mesmo. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Agência Nacional de Mineração conclui o relatório técnico sobre barragem de Brumadinho. Brasília, DF, 5 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 9452:2023: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Alterada pela Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Brasília, DF, 2010.

GHILANI CD, WOLF PR. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.

JERKE, A.; FAGGION, P. L.; DA CRUZ, W. Fatores que influenciam no monitoramento geodésico de barragens utilizando estação total. Revista de Geociências do Nordeste, v. 8, n. 1, p. 47–59, 2022. DOI: 10.21680/2447-3359.2022v8n1ID25857.

ISSN 2317-1316

SILVA A, FORTES R. Monitoramento de Estruturas: princípios e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

TOPAL GO, AKPINAR B. Determining the performance of HR-GNSS and RTS geodetic techniques for Structural Health Monitoring. Advances in Geodesy and Geoinformation. 2024;73(2). DOI: 10.24425/agg.2024.146165.

XUE C, PSIMOULIS P, HORSFALL A, ZHANG Q, MENG X. Assessment of the accuracy of low-cost multi-GNSS receivers in monitoring dynamic response of structures. Applied Geomatics. 2023;15:315-326. DOI: 10.1007/s12518-022-00482-8.

YU J, MENG X, YAN B, XU B, FAN Q, XIE Y. Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: a review. Structural Control and Health Monitoring. 2020;27. DOI: 10.1002/stc.2467.

ZHU M, EBRAHIMI A, VISWANATH M, TAVERA E, CHANDLER N. Geotechnical Instrumentation for Roadways: Shifting from Manual to Automated. GeoStrata Magazine. 2016;20(3):58-63. DOI: 10.1061/geosek.0000333.