ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Uso de videogrametria para inspeção virtual de armaduras de pré-fabricados de concreto

Use of videogrammetry for virtual inspection of reinforcement in prefabricated concrete

Ricardo Oliveira da Cruz Silva
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | ricardodacruz98@gmail.com
Alisson Souza Silva
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | so_alisson@hotmail.com
Rafael Oliveira Sena
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | sena.rafael@ufba.br
Brenda Kyssara do Rêgo Araújo
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | brendakyssara@gmail.com
Reymard Sávio Sampaio de Melo
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | reymard.savio@ufba.br

Resumo

A inspeção da montagem de armaduras de elementos pré-fabricados de concreto exige alta precisão, que pode ser alcançada com *Lasers Scanners* Terrestres (LST). Porém, são equipamentos de custo elevado. Este estudo investiga a viabilidade do uso de videogrametria com smartphones como alternativa mais acessível. Utilizando um Estudo de Caso como estratégia de pesquisa, foram avaliados modelos virtuais gerados a partir de vídeos de armaduras, capturados em ambiente fabril. Os resultados mostram que é necessário atender a certos parâmetros para obter modelos satisfatórios. A análise dos resultados permitiu identificar um método de estimar o tempo de processamento necessário para gerar os modelos virtuais. Estes apresentaram falhas pontuais, indicando a necessidade de ajustes.

Palavras-chave: Qualidade dimensional. Armaduras.

Abstract

Precast concrete reinforcement assembly inspection requires high precision, which can be achieved with Terrestrial Laser Scanners (LST). However, these devices are expensive. This study investigates the feasibility of using videogrammetry with smartphones as a more affordable alternative. Employing a Case Study approach, virtual models generated from videos of reinforcement cages captured in a manufacturing environment were evaluated. The results indicate that certain parameters must be met to obtain satisfactory models. The analysis of the results allowed the identification of a method to estimate the processing time required to generate the virtual models. These models presented specific failures, indicating the need for adjustments.

Keywords: Dimensional quality. Reinforcement cages.

Como citar:
SILVA, R.; SILVA, A.; SENA, R.; ARAÚJO, B.; MELO, R.., Uso de videogrametria para inspeção virtual de armaduras de pré-fabricados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

Na construção civil, a indústria de componentes pré-fabricados tornou-se uma das mais dedicadas ao controle de qualidade dimensional durante a fase de fabricação, envolvendo principalmente objetos como barras de reforço, lajes, painéis de concreto e vigas de tabuleiros de pontes [1]. Isso ocorre devido à crescente demanda por peças pré-moldadas nos últimos anos [2]. Além disso, a produção das peças de concreto armado pré-fabricadas requer precisão por duas razões: 1) a resistência da estrutura depende da correta disposição das armaduras em relação à fôrma, e 2) durante a fase de montagem das peças no local, qualquer variação que exceda a tolerância de fabricação obrigatória pode resultar em incompatibilidades com os componentes de concreto armado adjacentes [3]. Dessa maneira, é fundamental que haja uma verificação da qualidade ativa, evitando tais problemas.

Segundo [4], a verificação de forma tradicional é trabalhosa e apresenta riscos à segurança do inspetor. Um inspetor qualificado e experiente realiza, principalmente, a inspeção das armaduras para identificar quaisquer irregularidades associadas ao espaçamento, comprimento e diâmetro, utilizando dispositivos de medição que exigem contato, como fita métrica e paquímetro [4]. Entretanto, essa atividade trabalhosa tende a ser tediosa e propensa a erros. Além disso, a atividade tradicional pode exigir que os inspetores andem sobre as armaduras para verificar as dimensões e espaçamentos, expondo-os a acidentes como quedas e perfurações. Além do risco de acidentes durante o trânsito, esse tipo de inspeção ainda pode ocasionar deslocamentos que afetem o correto posicionamento das peças [5].

Visando superar tais limitações, diversos autores recomendam o uso de tecnologias digitais [6], [7]. Nesse contexto, a indústria da construção tem utilizado cada vez mais dados de nuvens de pontos para diversos fins [8], incluindo inspeção de qualidade geométrica [5], [8], [4]. Estas nuvens consistem em um conjunto de pontos tridimensionais em um sistema de coordenadas 3D (X, Y e Z) e geralmente têm como objetivo representar as superfícies externas de um objeto a partir dessa reconstrução [9].

Os dados de nuvem de pontos 3D podem ser adquiridos por meio de várias abordagens, incluindo varredura a *laser*, fotogrametria e videogrametria [8]. As técnicas de fotogrametria e videogrametria referem-se à reconstrução através da digitalização de um conjunto de imagens ou quadros extraídos de vídeos que capturam um objeto de múltiplos ângulos, usados para criar uma malha de superfície ou nuvens de pontos tridimensionais [10]. A varredura a *laser*, por sua vez, é um processo de reconstrução tridimensional de um objeto ou ambiente, através da medição do tempo de resposta de feixes de luz unidimensionais emitidos pelo *laser scanner* [11].

Em um contexto composto por diferentes níveis de maturidade digital, a construção civil contempla cenários nos quais tecnologias avançadas, como os laser scanners terrestres, são utilizadas em atividades como a verificação dimensional de elementos, contrastando com cenários onde essas atividades ainda são realizadas de forma manual, sem o auxílio de quaisquer tecnologias [4]. Dentre as justificativas, autores

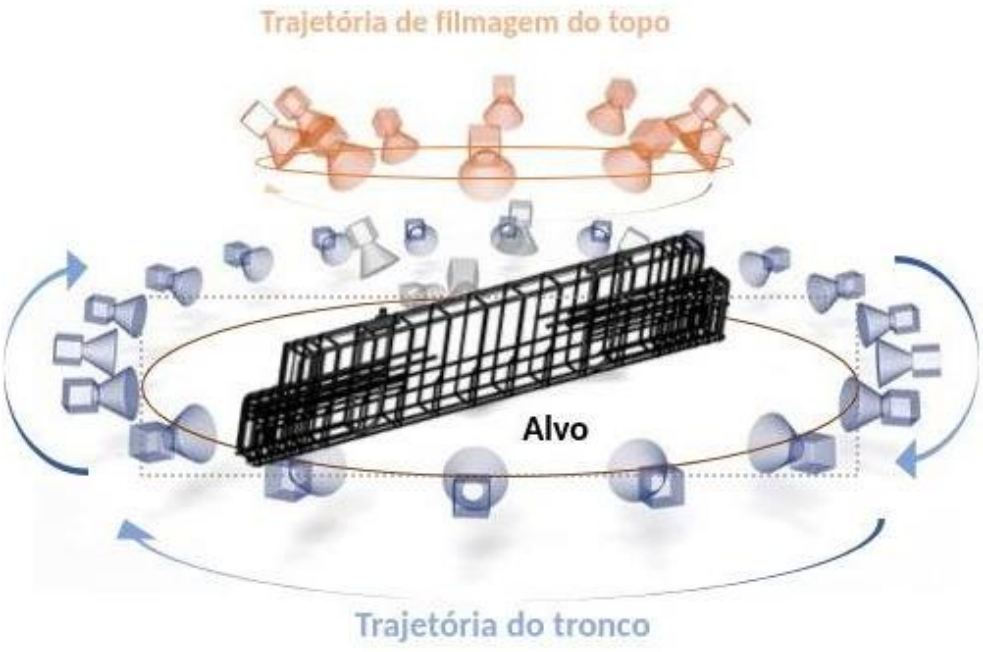
como [12] e [13] apontam que o uso dessas ferramentas demanda elevada capacitação técnica e alto investimento inicial para a sua utilização.

Diante deste cenário, este estudo analisa a viabilidade do uso da videogrametria para a inspeção virtual de armaduras de elementos pré-fabricados de concreto. Foram gerados diversos modelos virtuais a partir de vídeos das armaduras capturados por *smartphones* em ambiente fabril. Essa abordagem permitiu avaliar o tempo de processamento computacional necessário e a qualidade dos modelos virtuais gerados. Além disso, foram avaliados indicadores essenciais para determinar a viabilidade do uso de *smartphones* e fotogrametria como ferramentas de baixo custo para apoiar o sistema de gestão da qualidade de elementos pré-fabricados.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A videogrametria é uma técnica que extrai informações de gravações em vídeo. Como os quadros de vídeo são sequenciais, os *pixels* em cada quadro são reconstruídos de forma progressiva com base no quadro anterior. Esta técnica permite uma reconstrução mais rápida da infraestrutura civil e o nível de precisão da reconstrução progressiva tornou-se satisfatório com o uso de câmeras de alta resolução [14]. Em comparação à fotogrametria, a videogrametria apresenta como principal vantagem a agilidade na aquisição de dados, permitindo um processo de reconstrução mais simples e robusto [15].

Figura 1 - Esquema do percurso das câmeras por videogrametria

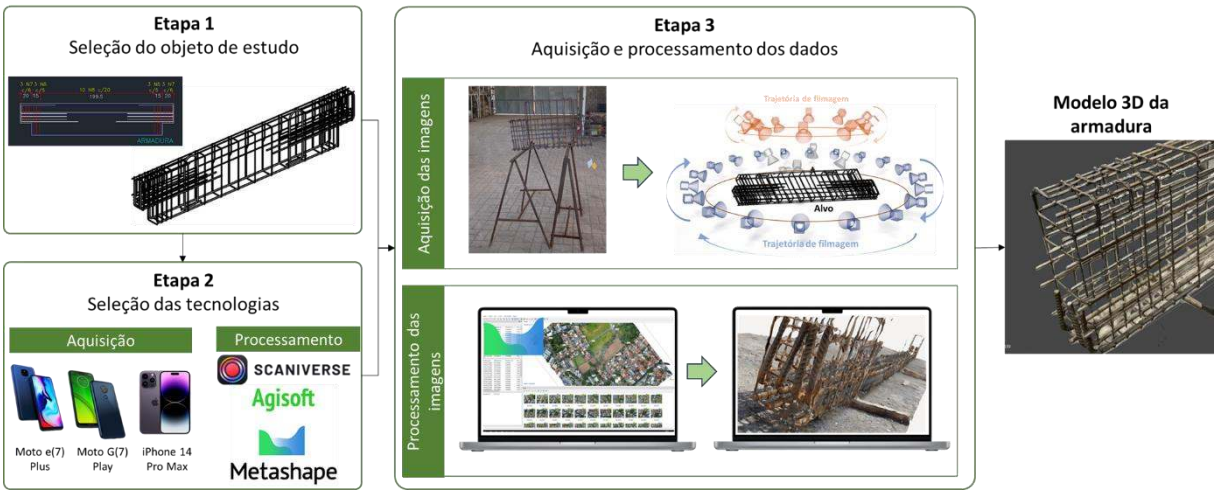


Fonte: Adaptado de [17].

MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada foi o Estudo de Caso que, segundo [16], é uma estratégia de pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto do mundo real, envolvendo análises qualitativas e/ou quantitativas. Dessa maneira, este estudo foi desenvolvido em três etapas, conforme mostra a Figura 2, sendo: (1) seleção e definição do objeto de estudo, (2) seleção das tecnologias de aquisição e processamento e (3) aquisição e processamento de dados.

Figura 2 – Delineamento do método



Fonte: Os autores.

SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Visando contemplar condições reais de uso na indústria civil, a tecnologia proposta foi aplicada a objetos sem qualquer intervenção dos pesquisadores. Para isso, foram realizadas três visitas à Fábrica X, produtora de peças de concreto pré-fabricadas, além de uma visita a uma empresa construtora de médio porte, onde foram feitas as filmagens dos elementos. As peças filmadas estavam em processo de armação ou em estoque no canteiro e foram selecionadas aquelas sem colaboradores trabalhando no momento das capturas.

Durante as filmagens, foram registradas armaduras de diversos elementos estruturais, incluindo: 10 vigas diferentes, 1 bloco de fundação, 1 pilar e 1 conjunto de armaduras cortadas e dobradas, conforme mostrado na figura 3. Os elementos capturados apresentam grandes diferenças em termos de geometria, densidade, arranjo e bitola do aço. Essa grande variabilidade foi considerada positiva, pois permite analisar o comportamento da aplicação da videogrametria às armaduras metálicas em geral.

Figura 3 – Exemplar de armadura utilizada para geração de modelos virtuais



Fonte: Os autores.

SELEÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Esta etapa envolveu a seleção das tecnologias para a aquisição e processamento das imagens. Os dispositivos utilizados foram *smartphones* de diferentes modelos, incluindo dois intermediários, o Moto G7 *Play* e o Moto E7 *Plus*, e um iPhone 14 Pro Max. O Moto G7 *Play* possui uma câmera de 13 *megapixels* (MP) e uma abertura focal de ƒ/2.0, oferecendo boa definição das imagens com pouca interferência de ruído e cores vibrantes em condições de iluminação favoráveis. Grava vídeos em 4K, com resolução de 3840x2160 *pixels* (Ultra HD) a 30 quadros por segundo (QPS), e conta com estabilização de vídeo digital por *software*. O Moto E7 *Plus* possui uma câmera dupla, com uma lente de profundidade de 2MP e uma principal de 48MP, que captura detalhes nítidos em boa iluminação. Ele grava vídeos em *Full* HD, com resolução de 1920x1080 *pixels* a 60 QPS, e tem uma abertura focal de ƒ/1.7, mas não dispõe de estabilização de vídeo.

O iPhone 14 Pro Max tem um sistema de câmeras avançado, com uma lente grande-angular de 48 MP (24mm, abertura ƒ/1.78), uma ultra-angular de 12MP (abertura ƒ/2.2, ângulo de visão de 120°), uma teleobjetiva de 12MP (77mm, abertura ƒ/2.8) e uma teleobjetiva adicional de 12MP (48mm, abertura ƒ/1.78) com sensor quad-pixel. Este sistema permite a gravação de vídeos HDR Dolby Vision em até 4K a 60 QPS e oferece estabilização óptica de imagem para vídeos (nas lentes grande-angular e teleobjetiva), proporcionando uma qualidade superior à estabilização digital baseada em *software*.

A escolha dos dispositivos foi planejada para permitir a comparação entre diferentes tipos de *smartphones* durante o processo de captura. Optou-se por incluir aparelhos intermediários, que, por serem de baixo custo, são mais representativos como dispositivos populares utilizados em campo, e um modelo de custo mais elevado, para comparar os resultados obtidos com um dispositivo de maior capacidade de captura e, portanto, potencialmente com melhor qualidade. Além disso, o uso de *smartphones* aumenta a probabilidade de que os responsáveis pela captura das imagens, como

estagiários, mestres de obras e encarregados, já estejam familiarizados com eles. Isso reduz a necessidade de treinamentos complexos para a captura adequada dos vídeos das armaduras.

Tabela 1 - Características dos smartphones utilizados e recursos de gravação

Modelo	Câmera principal	Resolução de gravação	Autofoco em vídeo	QPS da gravação	Estabilização em vídeo	Outros recursos
Moto G7 ***Play*** – Android 10 (2019)	13 MP	4K Ultra HD (3840x2160 pixels)	Sim	30	Sim (Digital)	-
Moto E7 ***Plus*** – Android (2020)	48 MP	*Full* HD (1920x1080 pixels)	Sim	60	Não	-
Iphone 14 Pro Max – iOS 16 (2022)	48 MP	4K Ultra HD (3840x2160 pixels)	Sim	60	Sim (Óptica)	HDR

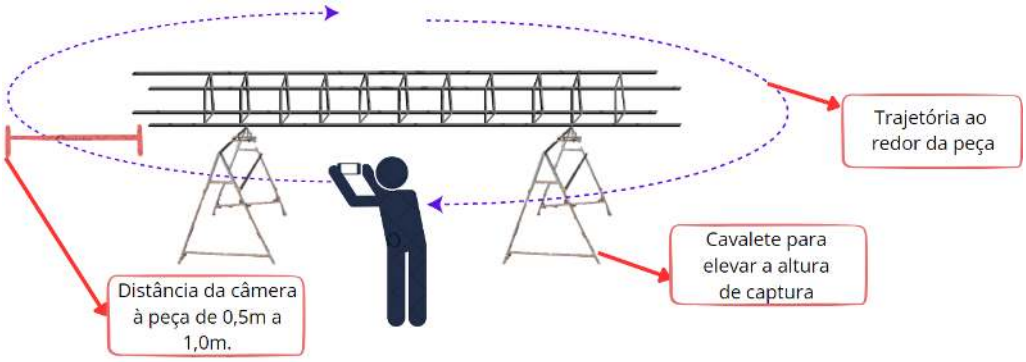
Fonte: Os autores.

Para o processamento dos dados foram utilizados dois aplicativos, sendo: *MeshRoom (AliceVision)*, totalmente gratuito, e *Metashape (Agisoft)*, que possui funções gratuitas e pagas e versão completa de teste por 30 dias. A seleção da fotogrametria, por sua vez, considerou sua afinidade com a Construção Civil, onde já é utilizada para levantamentos topográficos em larga escala e medição de volumes de agregados. Além disso, há uma variedade de *softwares* disponíveis, tanto gratuitos quanto pagos, que realizam esse processo de forma semiautomatizada, facilitando sua implementação.

AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Durante os registros das imagens, foram estabelecidos parâmetros de filmagem, conforme apresenta a Figura 4. A duração dos vídeos foi limitada a 45 segundos, a distância do alvo foi variada entre 0,5m e 1,0m e não foi utilizado anteparo ou luz artificial e as peças foram registradas na posição em que se encontravam durante o processo de armação ou em estoque no canteiro. A relação do processo de aquisição de dados é apresentada na Tabela 2.

Figura 4 - Esquema de captura das armaduras



Fonte: Os autores.

Tabela 2 - Captura de vídeos

Visita	Capturas	Duração (segundos)	Modelo *smartphone*
1	3	33	Moto e(7) *Plus*
1	4	32	Moto e(7) *Plus*
1	5	26,6	Moto e(7) *Plus*
1	6	23,68	Moto e(7) *Plus*
1	7	22,34	Moto e(7) *Plus*
1	9	16,67	Moto e(7) *Plus*
1	11	38	Moto e(7) *Plus*
2	1	34	Iphone 14 Pro Max
2	2	46	Iphone 14 Pro Max
2	3	31	Iphone 14 Pro Max
2	4	21,88	Iphone 14 Pro Max
2	5	15,45	Iphone 14 Pro Max
2	6	11,57	Iphone 14 Pro Max
2	8	46	Iphone 14 Pro Max
3	1	15	Moto g(7) *Play*
3	2	14	Moto g(7) *Play*
3	3	11	Moto g(7) *Play*
3	4	18	Moto g(7) *Play*
3	5	31	Moto g(7) *Play*
3	6	26	Moto g(7) *Play*
3	7	22	Moto g(7) *Play*
4	2	48	Moto g(7) *Play*
4	3	68	Moto g(7) *Play*
4	4	93	Moto g(7) *Play*
Total	**24 vídeos**	**12,4 minutos**	**3 dispositivos**

Fonte: Os autores.

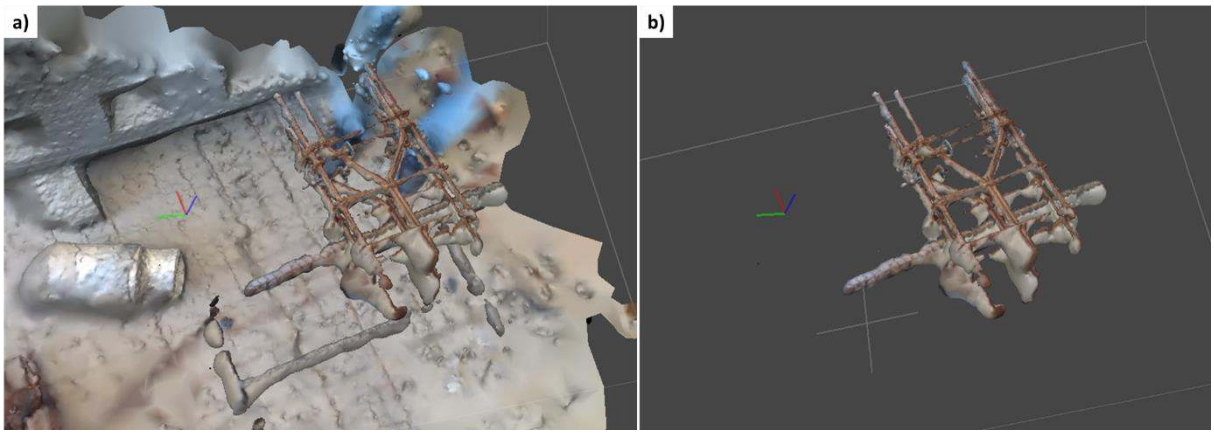
O processamento das imagens foi dividido em duas etapas principais: pré-processamento e processamento. No pré-processamento, os vídeos capturados foram convertidos em fotos utilizando a ferramenta gratuita FFMPEG, que suporta diversos formatos de vídeo. Nesta etapa, também foram definidos os parâmetros de quadros por segundo **(Quadros Por Segundo - QPS)**, que afetam a quantidade de fotos processadas pelo aplicativo de fotogrametria, impactando o tempo de processamento e a qualidade do modelo final. O tempo total de processamento depende das configurações do computador utilizado; para os testes deste trabalho, foram usados um computador com processador Intel i7-6500U a 2,50 GHz, arquitetura de 64 bits, placa gráfica Nvidia GeForce 920MX com 2 GB de memória dedicada e 8 GB de RAM.

No *software Metashape* (*Agisoft*), foram utilizados apenas dois processos: alinhamento de fotos, para a geração de pontos fotogramétricos (*Tie Points*), e geração do modelo, para a criação do mapa de profundidade e do modelo 3D. O tempo total de processamento representa a soma dos tempos para a geração dos pontos fotogramétricos, do mapa de profundidade e do modelo 3D. O processo de alinhamento das fotos realiza uma verificação em cada imagem, buscando

características que agreguem valor aos demais processos. Assim, nem todas as imagens iniciais são processadas nas etapas subsequentes. Em média, houve um aproveitamento de 88,29% das imagens inicialmente adicionadas.

Os modelos finais gerados por esses processos foram avaliados com base em dois parâmetros: a quantidade de faces e a quantidade de vértices. Embora seja possível obter melhores resultados utilizando recursos como a Construção de Nuvem Densa, tratamentos para redução de vértices (*Decimate Modifier*), criação de texturas e filtragem por seleção gradual, a aplicação desses recursos exige manipulação individual dos modelos, o que demandaria conhecimentos específicos no *software* e dificultaria a implementação em larga escala na Construção Civil. É importante observar que, para a realização das avaliações das quantidades de faces e de vértices, foi realizada uma limpeza dos modelos virtuais, removendo elementos que foram reconstruídos virtualmente, mas que não são de interesse para os estudos, com a ferramenta de corte disponível no próprio *software Metashape* (Figura 5).

Figura 5 - a) Modelo virtual sem remoção de elementos indesejados; b) modelo com remoção



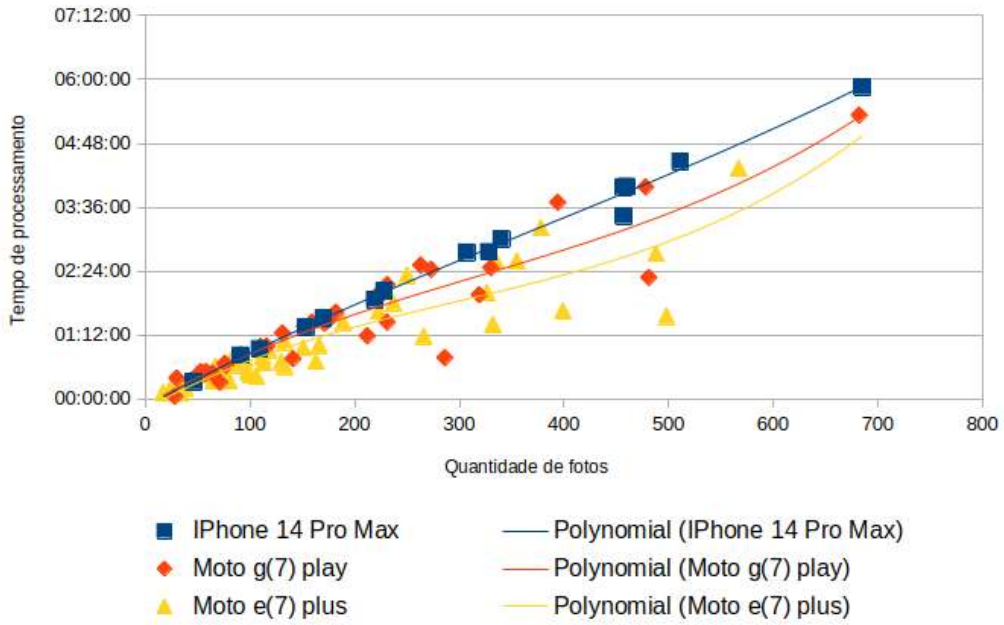
Fonte: Os autores.

RESULTADOS

O processamento das imagens envolveu a aplicação de fotogrametria às fotos extraídas na etapa de pré-processamento. Tanto o *software Metashape* (*Agisoft*) quanto o *MeshRoom* (*AliceVision*) forneceram resultados semelhantes; no entanto, o *Agisoft* se destacou pela maior eficiência no uso do tempo computacional e foi, portanto, escolhido para os testes finais.

Inicialmente, foi investigado se a variação na câmera, ou seja, a mudança de modelo de *smartphone*, teria um impacto significativo no tempo de processamento. Para avaliar esse aspecto, foi criado um gráfico relacionando o tempo gasto e a quantidade de fotos (Figura 6). Os dados foram organizados por modelo de aparelho e as linhas de tendência foram adicionadas para facilitar a análise.

Figura 6 - Comparativo da Quantidade de fotos x Tempo de processamento por smartphone



Fonte: Os autores.

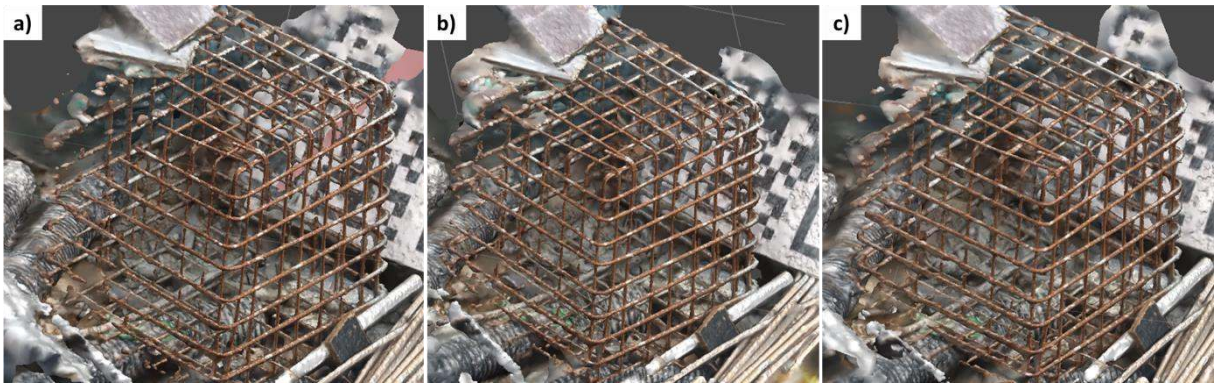
A avaliação do gráfico demonstra que há variações no tempo de processamento quando alterado o modelo do *smartphone* utilizado na captura. Apesar de sutil, acreditamos que a variação observada é devido à qualidade da foto que cada dispositivo captura além de sofrerem variações devido às diferentes tecnologias de estabilização.

- O iPhone 14 Pro Max, que gera as imagens mais nítidas, 48MP com resolução de 3840x2160 *pixels*, é o que necessita de maior tempo de processamento por imagem. Apesar disso, esse modelo foi o mais constante, devido a tecnologia embutida no aparelho de estabilização óptica.
- O Moto g(7) *Play*, apesar de ser anunciado pela fabricante como modelo mais simples em relação ao Moto e(7) *Plus*, é capaz de capturar vídeos com a mesma resolução do iPhone, 3840x2160 *pixels,* porém com apenas 13MP, tornando o processamento das fotos obtidas com o aparelho mais rápido do que o iPhone. O sistema de estabilização digital presente no aparelho, não é tão eficiente quanto o óptico e, portanto, os resultados tiveram maior variabilidade em comparação ao iPhone.
- O Moto e(7) *Plus*, dentre os aparelhos testados é o que possui a menor resolução, 1920x1080 *pixels*, portanto suas fotos foram processadas com maior velocidade. No entanto, a falta de tecnologia de estabilização de vídeo provocou a maior variabilidade do tempo de processo entre os aparelhos testados.

As imagens nas Figuras 7 e 8, assim como a Tabela 3, ilustram os resultados dos testes realizados. A Figura 7 mostra os resultados de três processamentos do elemento A: com 2 QPS (Figura 7a), com 5 QPS (Figura 7b) e com 10 QPS (Figura 7c). Já a Figura 8 apresenta os resultados de três processamentos do elemento B: com 2 QPS (Figura

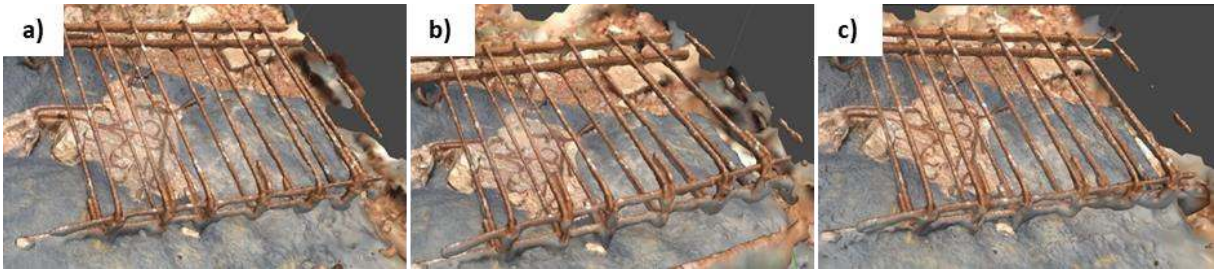
8a), com 5 QPS (Figura 8b) e com 15 QPS (Figura 8c). A Tabela 3, por sua vez, correlaciona os elementos, as taxas de QPS e os tempos de processamento.

Figura 7: Resultado do processamento do elemento A



Fonte: Os autores.

Figura 8: Resultado do processamento do elemento B



Fonte: Os autores.

Tabela 3 - Tempo de processamento

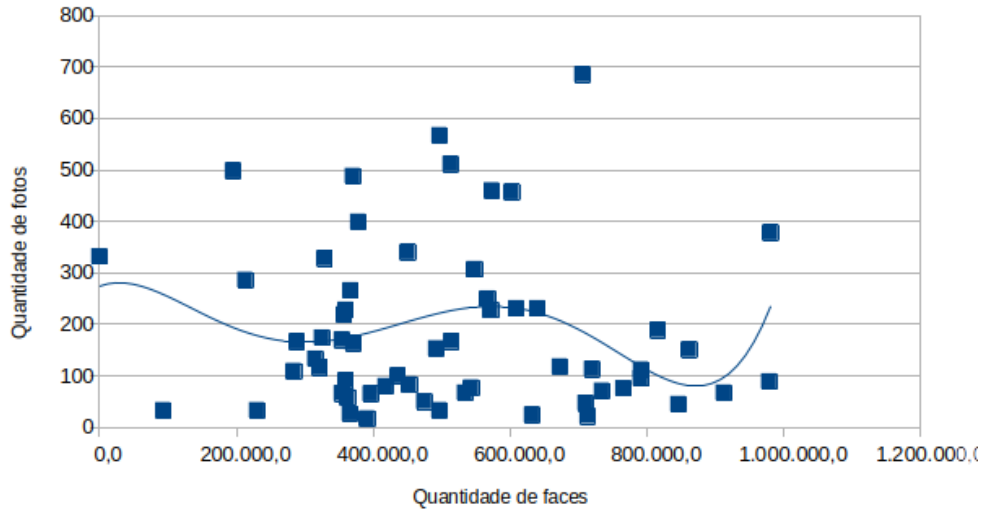
Elemento (Armaduras)	QPS (Un)	Duração (Min)
A	2	33
A	5	74
A	10	150
B	2	34
B	5	86
B	15	238

Fonte: Os autores.

Logo, os testes indicam que a utilização de taxas reduzidas de quadros por segundo pode melhorar a qualidade dos modelos, reduzindo a incidência de zonas de descontinuidade. No entanto, a maior taxa de QPS, e consequentemente um maior número de imagens, leva a um aumento no tempo de processamento devido ao maior custo computacional. Além da análise visual, o processamento dos trechos de vídeo obtidos durante as visitas possibilitou a captura de parâmetros relevantes. Para atender aos objetivos da pesquisa, foram selecionados três indicadores que permitem prever a qualidade e o tempo de processamento dos modelos virtuais gerados a partir das imagens de armaduras.

O primeiro indicador adotado é o "retorno", que relaciona a quantidade de faces no modelo com o número de fotos utilizadas. A alta dispersão observada no gráfico sugere que a eficiência do processo é influenciada por fatores além da quantidade de fotos, destacando a importância de considerar outros aspectos no processamento (Figura 9).

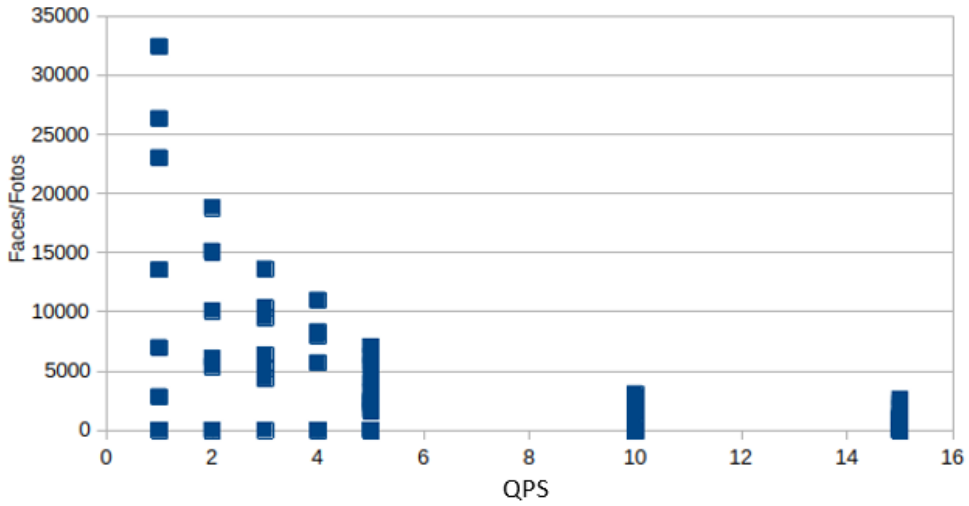
Figura 9 - Indicador Retorno (Quantidade de fotos X Quantidade de faces)



Fonte: Os autores.

O segundo indicador utilizado é denominado como “eficiência”. Dentro do processo de criação de modelos virtuais, o conceito de eficiência se refere à quantidade de faces que cada foto é capaz de gerar. No entanto, o processo de fotogrametria necessita que haja uma sobreposição entre as fotos para conseguir estimar a distância entre pontos que aparecem em fotos diferentes e assim definir a sua localização. Dessa maneira, a eficiência é um fator associado ao número de quadros por segundo que foram utilizados para gerar as fotos a partir do vídeo original. Os modelos gerados com QPS mais altos, obtiveram as menores eficiências quando comparados a modelos gerados com QPS mais baixos, indicando uma relação inversa entre eficiência e QPS. Nota-se, então, que o maior número de quadros demanda maior volume de processamento, mas não assegura maior qualidade do modelo.

Figura 10 - Indicador Eficiência (QPS X Faces/ Fotos)



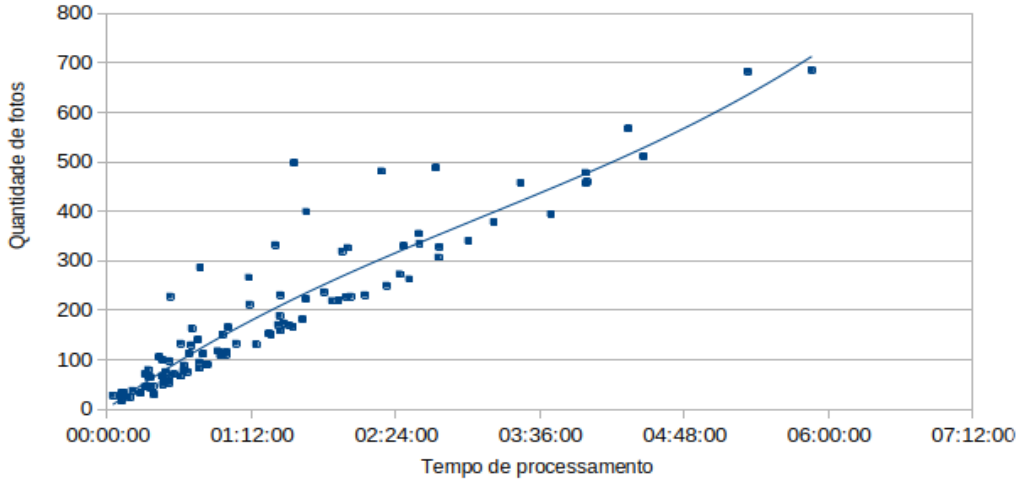
Fonte: Os autores.

A análise do gráfico permite obter alguns aprendizados quanto ao comportamento do processamento: QPS

- A utilização de menores taxas de Quadros Por Segundo – QPS, em geral, são mais eficientes do que utilização de QPS altos.
- Ainda que QPS baixos sejam mais eficientes, há modelos que foram gerados com pequenas taxas de QPS que possuem pouca eficiência. Isso indica que outros fatores de filmagem como luz e sombra, cor do fundo e velocidade de movimentação do operador, podem alterar os índices de eficiência.

Por fim, o indicador "custo" refere-se ao custo computacional, onde é analisado o tempo de processamento dedicado para o tratamento de um determinado volume de imagens. O indicador apresenta comportamento linear, com acréscimo de, aproximadamente, uma hora de processamento a cada cem fotos acrescidas à amostra (Figura 11).

Figura 11 - Indicador Tempo de Processamento (Tempo de Processamento X Quantidade de fotos)



Fonte: Os autores

Através da correlação dos indicadores, em conjunto com os resultados alcançados durante os testes realizados, buscou-se estimar parâmetros sugeridos para a captura e processamento dos dados obtidos por meio da videogrametria. Para a realização da filmagem, foi estimada uma duração mínima de 30 segundos, visto que os maiores índices de eficiência ocorrem para menores quantidades de quadros por segundo e vídeos mais curtos que isso podem não ter imagens suficientes para o processamento. Em contrapartida, analisando o indicador "custo", entende-se que deve haver uma limitação superior da duração do vídeo. Estima-se uma duração máxima de filmagem de 180 segundos, considerando os custos de processamento. Em relação à quantidade de quadros por segundo a serem extraídas das filmagens, ainda observando os resultados do indicador "eficiência", sugere-se a adoção de valores entre 1 e 5 QPS. Tendo em vista a aplicação prática dos aprendizados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa, identificou-se que é possível a implementação de duas funções que permitem que o usuário entre com as informações de comprimento em segundos do vídeo e o QPS de pré-processamento desejado e saia com a previsão de tempo de processamento. A primeira função é trivial e apenas multiplica o QPS desejado pelo comprimento do vídeo em segundos, obtendo o total de fotos. A segunda função pode ser obtida por meio da análise do gráfico da Figura 11. A seguir, um exemplo de implementação na ferramenta *Excel*.

Figura 12 - Exemplo de implementação de funções para obter a previsão de tempo de processamento

	Dados informados pelo usuário	Função 01	Função 02
Comprimento do vídeo (segundos)	30	Total fotos = comprimento * fps	T. proces. (min) = 0,4332 * Total fotos + 28,08
QPS desejado	2	Total fotos = 60	T. proces. (min) = 54,072
Obs.: 0,4332 → Coeficiente angular obtido pela análise do gráfico da Figura 11			
Obs.: 28,08 → Local de inteseção do gráfico da Figura 11 com o eixo Y			

CONCLUSÃO

Este estudo investigou a viabilidade da videogrametria para inspeção virtual de armaduras de elementos pré-fabricados de concreto, gerando diversos modelos virtuais a partir de vídeos capturados por *smartphones* em ambientes fabris. A pesquisa avaliou o tempo de processamento computacional necessário e a qualidade dos modelos, além de considerar a eficácia dos dispositivos e da fotogrametria como ferramentas de baixo custo para o sistema de gestão da qualidade.

Os resultados indicam que certas condições devem ser atendidas para obter modelos satisfatórios de armaduras com videogrametria. Observou-se ainda que a eficiência do processo de geração dos modelos é influenciada por outros parâmetros. Estudos futuros devem explorar efeitos da luz e sombra, cor do fundo e velocidade de movimentação do operador sobre os resultados. Após isso, acredita-se que seja necessário avaliar o nível de precisão dimensional dos modelos virtuais, comparando com as peças metálicas reais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida ao segundo autor, à CAPES pela bolsa de mestrado do terceiro autor e à fábrica de pré-moldados que permitiu a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] WU, Keyi et al. Automated Quality Inspection of Formwork Systems Using 3D Point Cloud Data. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 1177, 2024.

[2] WANG, Qian; CHENG, Jack CP; SOHN, Hoon. Automated estimation of reinforced precast concrete rebar positions using colored laser scan data. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 32, n. 9, p. 787-802, 2017.

[3] QURESHI, Abdul Hannan et al. Smart rebar progress monitoring using 3D point cloud model. **Expert Systems with Applications**, v. 249, p. 123562, 2024.

[4] YUAN, Xinxing; SMITH, Alan; SARLO Rodrigo; LIPPITT, Christopher D.; MOTREU, Fernando. Automatic Evaluation of Rebar Spacing using LiDAR Data. **Automation in Construction**, v. 131, p. 103890, 2021.

[5] KIM, Min-Koo; THEDJA, Julian Pratama Putra; WANG, Qian. Automated dimensional quality assessment for formwork and rebar of reinforced concrete components using 3D point cloud data. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103077, 2020.

[6] LI, Clyde Zhengdao et al. The Application of Advanced Information Technologies in Civil Infrastructure Construction and Maintenance. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7761, 2022.

[7] Silva, A. S.; Costa, D. B. Análise Do Uso De Tecnologias Digitais Para identificação Automatizada De Patologias Em construções. *ENTAC* **2022**, *19*, 1-14.

[8] WANG, Qian; TAN, Yi; MEI, Zhongya. Computational methods of acquisition and processing of 3D point cloud data for construction applications. **Archives of computational methods in engineering**, v. 27, n. 2, p. 479-499, 2020.

[9] TANG, Pingbo et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in construction**, v. 19, n. 7, p. 829-843, 2010.

[10] LIU, Xianglei et al. Videogrammetric technique for three-dimensional structural progressive collapse measurement. **Measurement**, v. 63, p. 87-99, 2015.

[11] ABMAYR, T. et al. Terrestrial laser scanning: Applications in cultural heritage conservation and civil engineering. In: **Proceedings of the ISPRS working group V4**. 2005.

[12] SUN, Zheng; ZHANG, Yingying. Using drones and 3D modeling to survey Tibetan architectural heritage: A case study with the multi-door stupa. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2259, 2018.

[13] PETERSON, S.; LOPEZ, J.; MUNJY, R. Comparison of UAV imagery-derived point cloud to terrestrial laser scanner point cloud. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, p. 149-155, 2019.

[14] OMAR, Tarek; NEHDI, Moncef L. Data acquisition technologies for construction progress tracking. **Automation in construction**, v. 70, p. 143-155, 2016.

[15] TORRESANI, Alessandro; REMONDINO, Fabio. Videogrammetry vs photogrammetry for heritage 3D reconstruction. In: **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W15**. 2019. p. 1157-1162.

[16] MURTIYOSO, Arnadi; GRUSSENMEYER, Pierre. Experiments using smartphone-based videogrammetry for low-cost cultural heritage documentation. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 46, p. 487-491, 2021.

[17] YIN, Robert K. Estudo de Caso-: Planejamento e métodos. Bookman editora, 2015.

[18] SILVA, Alisson de Souza da; GONZAGA, Leonardo Gonçalves; MELO, Roseneia Rodrigues Santos de; COSTA, Dayana Bastos. Modelo de aprendizado de máquina para inspeção automatizada de fachadas de paredes de concreto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–9. DOI: 10.46421/sibragec.v13i00.2618 Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/2618. Acesso em: 7 ago. 2024