Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta
6 a 9 de novembro de 2017, SBC, Rio de Janeiro - RJ, p. 873-878

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PRÉ-ESTABELECIDOS DE CALIBRAÇÃO DE LASER SCANNER TERRESTRE

S. P. L. P. Corrêa[1], *A. P. Santos*[1], *L. B. Lima*[1], *N. G. Medeiros*[1]

[1]Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Comissão IV– Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

A utilização de Laser Scanner Terrestre (LST) tem facilitado muito o mapeamento tridimensional. Todavia, para que este mapeamento atinja uma boa acurácia, é importante que o equipamento esteja calibrado. No caso do LST, a calibração é mais árdua por se tratar de um equipamento que possui maiores fatores que resultam em erros sistemáticos se comparado a uma câmera fotográfica ou fotogramétrica. Encontrar estes erros, ou Parâmetros Adicionais (APs), suas correlações e a percentagem de melhoria do equipamento é o objetivo da auto-calibração. Estes resultados variam de acordo com a abordagem de coleta de dados, assim como com o algoritmo utilizado. Através desta revisão literária, foi observado que a calibração ponto a ponto ainda é o método mais utilizado apesar de a calibração por plano também atingir resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Laser Scanner Terrestre, Calibração, Acurácia, Erros Sistemáticos.

ABSTRACT

Using Terrestrial Laser Scanners (TLS) has helped a vastly improvement of the 3D mapping compatibilities. Nevertheless, in order to achieve accuracy, it is important to have the equipment calibrated. When it comes to TLS, the calibration is more arduous due to increased number of factors that result in systematic errors if compared with a photographic or photogrammetric camera. Finding these errors, or additional parameters (APs), their correlations and equipment improvement percentage is the objective of the auto-calibration. These results vary according to the method of collecting data as well as the algorithm used. From this literature review, it was observed that the point-based calibration is still the most commonly used method, although plane-based calibration can also achieve satisfactory results.

Keywords: Terrestrial Laser Scanner, Calibration, Accuracy, Systematic Errors.

1– INTRODUÇÃO

Com o recente avanço de tecnologias relativas ao levantamento de pontos tridimensionais a partir do aperfeiçoamento de equipamentos topográficos, a técnica de varredura a laser surge como alternativa para os levantamentos terrestres, com um vasto potencial de aplicação na área de cartografia, principalmente na criação de modelos digitais em 3D.

Atualmente levantamentos topográficos realizados a partir de laser scanner terrestre (LST) são utilizados como referência para a comparação de diferentes métodos e equipamentos topográficos. E é justamente por isso que é importante que a sua confiabilidade seja alta. Esta confiabilidade está diretamente relacionada a escolha de um equipamento que tenha seus erros sistemáticos (aqui chamado de parâmetros adicionais - APs) minimizados, ou seja, um equipamento calibrado. Nesta calibração são aplicadas metodologias para que estes erros sistemáticos sejam os mínimos possíveis. A complexidade deste processo varia com o LST. Nota-se, portanto, que a calibração de um laser scanner terrestre (LST) é uma tarefa complexa, porém de extrema necessidade para a maior credibilidade dos resultados.

Segundo Lichti (2010), para o procedimento de autocalibrarão de um LST é utilizada a modelagem dos erros sistemáticos, ou parâmetros adicionais (APs) de modo a estimar os coeficientes destes modelos.

Em relação às abordagens de coleta de dados para a auto-calibração, encontram-se os métodos: ponto a ponto (*point-based*), por planos (*plane-based*) e por cilindro (*cylinder-based*). Segundo Lichti (2010), todos estes modelos têm em comum uma coleta de dados com uma alta redundância com uma configuração que garante uma intensa sobreposição de dados (a partir de diferentes posições do LST), permitindo assim a que haja a formação de figuras geométricas regulares distribuídas entre a posição dos alvos e do LST.

Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão literária dos métodos de auto-calibração considerando os erros sistemáticos (parâmetros adicionais, APs) que podem ocorrer no sistema LST, discorrendo sobre os diversos métodos de auto-calibração que têm sido investigados por vários pesquisadores, como Gielsdorf (2004), Lichti (2006, 2007, 2009, 2010, 2011), Bae (2007), Reshetyuk (2009, 2010), Schneider (2009), Chow (2011, 2012), Chan (2012, 2015), Abbas (2015), Al-Mansir (2015), García-San-Miguel e Lerma (2013, 2014), Borges (2017) e outros. Justifica-se tal objetivo pelos poucos trabalhos no Brasil com o tema proposto, assim como a necessidade de difusão da calibração de um LST no meio científico.

Esta revisão primeiramente apresentará a abordagem de coleta de dados, seguido pelos Parâmetros Adicionais escolhidos pelos autores para inferir sobre os erros sistemáticos do LST e, por fim, um estudo comparativo das diferentes literaturas utilizadas neste trabalho.

2– MÉTODOS DE AUTO-CALIBRAÇÃO

2.1 - Metodologia de Coleta de Dados

Na coleta de dados, há três abordagens diferentes de se adquirir os pontos para a calibração do LST, que resultam em nomes distintos para a proposta de cada autor: *point-based* (ponto a ponto), *plane-based* (baseado em plano) e *cylinder-based* (baseado em cilindro). Além disso, dentre os LST utilizados na literatura, há *lasers que* funcionam tanto com fase (ex. Faro LS 880), quanto com pulso (ex. Leica HDS3000). Além do funcionamento do laser, há LSTs panorâmicos, que rotacionam em 360º horizontalmente e geralmente entre 80º a 90º verticalmente (VOSSELMAN E MAAS, 2010) e híbridos, que rotacionam por um ângulo horizontal de 360º e seu campo de visão vertical que pode se iniciar abaixo do plano horizontal do instrumento até o zênite (LICHTI et al., 2011). Por serem LST diferentes, seus comprimentos de onda e configurações iniciais de calibração também são diferentes, o que gera a necessidade de parâmetros de correção diferentes, assim como possivelmente métodos de calibração diferentes.

A auto-calibração ponto a ponto se dá pela disposição de alvos pontuais em vários locais diferentes em um ambiente como uma sala, considerando paredes, teto e chão (LICHTI, 2007; RESHETYUK, 2010), ou pela leitura de uma esfera (BORGES, 2017). Estes alvos do primeiro caso, no geral, são posicionados simetricamente e o tamanho da sala varia com a disponibilidade de cada pesquisador. O laser scanner é colocado em algumas posições diferentes para adquirir leituras de ângulos e distâncias diferentes, de forma a obter uma superposição de dados que possam gerar uma maior rigidez geométrica no ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ). A Figura 1 mostra um exemplo para disposição dos alvos da calibração ponto a ponto. É importante frisar que a boa distribuição dos alvos é crucial para um bom ajustamento (RESHETYUK, 2010) e, portanto, esta decisão deve ser bem ponderada. O tamanho da sala também influencia de forma significante na confiabilidade dos dados, especialmente para a determinação do parâmetro a_0 que está relacionado ao erro da distância e será demonstrado no item 2.2. (LERMA E GARCIA-SAN-MIGUEL, 2014).

Já a auto-calibração baseada em plano, dispõe-se ou em planos em volta de uma sala (Figura 2), ou escolhe-se planos de diferentes tamanhos (planos naturais da sala de estudo). De maneira análoga à calibração ponto a ponto, o LST é colocado em várias posições e deve-se haver um número de planos que possibilite uma alta redundância (CHOW et al., 2012).

Fig. 1- Disposição dos alvos de uma calibração ponto a ponto.
Fonte: Lichti (2007)

Fig. 2 - Exemplo de alvos para calibração baseada em plano
Fonte: Gierlsdof (2004)

No caso da auto-calibração baseada nos cilindros, não há mais a necessidade de uma sala para testes, tendo, portanto, a possibilidade de ser aplicada em outros tipos ambientes, inclusive locais abertos como campos, desde que haja cilindros no local. Estes cilindros podem ser postes de energia por exemplo, desde que tenham tamanhos homogêneos facilitando a calibração do equipamento (CHAN e LICHTI, 2012).

2.2 - Modelos Matemáticos

O modelo matemático geral para a calibração de uma LST é baseado na transformação de corpo rígido (comumente chamada de Isogonal, Conforme ou Helmert) que se encontra na Equação (1) (LICHTI, 2007; SCHEIDNER, 2009; LERMA E GARCÍA-SAN-MIGUEL, 2013). Estes cálculos devem ser aplicados

após o registro das leituras (junção dos scanners numa única nuvem de pontos).

A sequência do procedimento de ajustamento, mostrado por Lerma e García-San-Miguel (2013) é: entrada de dados, registro, ajustamento pelo método dos combinados sem os APs, ajustamento com os APs (remover os parâmetros neste caso com alta insignificância estatística) e os resultados. Tais resultados comparam os RMSs com os APs e sem os APs demonstrando o quanto que o equipamento foi melhorado.

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{bmatrix} = M_j \left(\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{oj} \\ Y_{oj} \\ Z_{oj} \end{bmatrix} \right)$$
$$M_j = R_3(\kappa_j) R_2(\phi_j) R_1(\omega_j) \quad (1)$$

Onde X_i, Y_i, Z_i são as coordenadas cartesianas do espaço-objeto do ponto i, x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} são as coordenadas cartesianas do ponto i no espaço-scan j, X_{oj}, Y_{oj}, Z_{oj} (na calibração ponto a ponto) são a posição do scanner j no espaço-objeto; ω_j, φ_j e κ_j são os ângulos de rotação que descrevem a orientação do scanner j no espaço-objeto. E por fim, R_1, R_2 e R_3 são as matrizes de rotação de cada eixo (CHAN et al., 2012).

É importante frisar que os aparelhos LST apresentam como resultado uma nuvem de pontos, com coordenas (x,y,z) de cada ponto. A partir desta nuvem é possível verificar distância e ângulos coletados a partir da Equação (2). Além disso, é conveniente a parametrização em termos de distância de observação (ρ), direção horizontal (θ) e ângulo vertical de inclinação (α) de forma a se obter resultados de ajustamento já de acordo com estes três termos (LICHTI, 2007). O modelo completo do ajustamento ponto-a-ponto é apresentado por Reshetyuk, 2009.

$$\rho_{ij} + v_{\rho_{ij}} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \Delta\rho$$
$$\theta_{ij} + v_{\theta_{ij}} = arctan\left(\frac{y_{ij}}{xij}\right) + \Delta\theta \quad (2)$$
$$\alpha_{ij} + v_{\alpha_{ij}} = arctan\frac{z_{ij}}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}} + \Delta\alpha$$

De acordo com Lichti, 2007, os parâmetros X_i, Y_i, Z_i e ω, φ, κ são os elementos de Orientação Exterior (OE) da localização do scan j. Os valores de ρ representam seus respectivos resíduos. Os elementos Δρ, Δθ e Δα são a orientação interior (OI) do scanner.

Nesta transformação do corpo rígido, no caso da auto-calibração por cilindro, a matriz X_{oj} é o centro do cilindro no plano YZ (CHAN et al., 2015) então se transporta o sistema de coordenadas para este ponto. Na auto-calibração ponto-a-ponto utiliza-se ou uma esfera ou um pequeno plano e calcula-se seu centroide, com os dados do objeto bem estipulados, como tamanho, forma e reflectividade (CHOW et al., 2012). Em Chow et al., 2011; Chow et al., 2012; Bae e Lichti, 2007 é mostrado que a calibração por planos utiliza uma outra equação, considerando quatro parâmetros planos, como mostrado na Equação (3).

$$n_k^T \left(M_j^T p_{ij} + P_{cj} \right) - d_k = 0 \quad (3)$$

Onde, n_k é o vetor normal ao plano k; p_{ij} é o vetor que contem (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) do scanner j e do ponto i; d_k é a distância ortogonal d a origem até o plano k. O ajustamento da auto-calibração por planos pode ser visto em Bae e Lichti, 2007.

2.3 - Parâmetros Adicionais (APs)

A maior variedade na literatura são justamente os parâmetros adicionais pois são as escolhas destes que determinam as melhorias no equipamento. Os parâmetros de a_0 a a_8 são relacionados aos erros do alcance, os parâmetros b_1 a b_7 são relacionados ao ângulo horizontal enquanto c_0 a c_4 são relacionados ao ângulo vertical. Os parâmetros mais utilizados são o offset de distância (a_0), erro do círculo da vertical (c_0), erro do eixo do limbo horizontal (b_2) e erro do eixo de colimação (b_1). Essa nomenclatura é dada por Chow et al, 2011 e Lichti, 2007, inclusive com a definição dos outros parâmetros, embora outros autores definam outros números para tais, o que muitas vezes gera conflito no entendimento da auto-calibração.

Deve-se ressaltar que muitos fabricantes não disponibilizam os parâmetros de correção de seus produtos e, portanto, muitas vezes os pesquisadores devem definir valores aproximados para os parâmetros no ajustamento, para assim, estabelecer os APs. Ademais, estes APs estão correlacionados entre si e com os parâmetros de orientação exterior. Assim, quanto maior a correlação após o ajustamento, maior será a instabilidade do sistema de ajustamento (Reshetyuk, 2010).

Esta correlação entre parâmetros é de extrema importância. Apesar de haver muitos APs, Reshetyuk (2010) afirma que se deve tomar cautela na escolha dos parâmetros pois a escolha de um número muito grande pode não ser estatisticamente significante. De acordo com Lerma e García-San-Miguel (2014), estes APs estatisticamente insignificantes podem ser descobertos através de testes estatísticos como o Fisher-Snedecor (teste F) com 1% de nível de significância. Contrariamente, Reshetyuk (2010) utilizou o Teste T. Além disso, os tipos de parâmetros a serem escolhidos podem resultar na diminuição da correlação entre esse tipo (a, b ou c), entretanto resultam também no aumento da correlação com outros tipos de parâmetros (Reshetyuk, 2010).

A Tabela 1 mostra quais parâmetros foram utilizados por alguns autores estudados. Deve-se frisar que certos autores (LERMA E GACÍA-SAN-MIGUEL, 2013;2014) não disponibilizam os parâmetros utilizados, embora é possível ter acesso a melhoria dos sistemas por eles empregados.

Em relação aos algoritmos utilizados, os autores não os disponibilizam. Todavia, todos os autores sugerem um ajustamento a partir do método dos combinados, onde os parâmetros a serem ajustados são

TABELA 1 - AUTORES E APs ESTUDADOS

Autores	Tipo de Leitura	a0	a1	a2	a3	a4	a7	a8	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	c0	c1	c2	c3	c4
Abbas et al., 2014	Plano																			
Abbas et al.., 2015	Ponto																			
Al-Manasir, Lichti, 2015	Ponto																			
Bae e Lichti, 2007	Plano																			
Chan e Lichti, 2012	Plano																			
Chan et al, 2015	Cilindro																			
Chow et al, 2012	Ponto e Plano																			
Chow et al., 2011	Ponto e Plano																			
Garcia-San-Miguel, Lerma, 2013	Ponto																			
Gielsdorf et al., 2004	Plano																			
Lichti e Licht, 2006	Ponto																			
Lichti, 2007	Ponto																			
Lichti, 2010	Ponto																			
Reshetuyk, 2010	Ponto																			
Reshtyuk, 2009	--																			
Schneider, 2009	Ponto																			

Insignificantes; Significantes; Altamente Significantes / Utilizados; Não Utilizados

justamente os APs, sugerindo, inclusive algumas equações a serem utilizadas.

3– COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS

Com os cálculos completos, os autores divulgaram seus objetivos: ou a percentagem de melhoria dos erros, ou a escolha dos melhores APs ou até mesmo o valor quantitativo dos erros do equipamento, pois, como mencionado no item 2.1, muitas vezes o fabricante não divulga seus parâmetros adicionais e esse processo deve ser essencial para um estudo aprofundado do equipamento. Desta forma, a Tabela 1 considerando os trabalhos analisados é apresentada.

Lichti, 2007 declara que seus resultados reduzem a dispersão dos resíduos, porém não declara qual a magnitude desta redução. Chow et al, 2012 apresenta melhorias para a calibração ponto-a-ponto, porém, quando comparando com a calibração por plano mostra que os APs encontrados chegam a ser quarenta vezes menores (b6) o que resulta em uma não confiabilidade dos resultados. Bae e Lichti, 2007 provaram que além da determinação dos APs, é necessário que haja um algoritmo para a determinação de outliers e que a percentagem de melhoria da calibração com outliers é em demasia mais baixa.

Observando a Tabela 2, pode-se concluir que as percentagens de melhoria após as calibrações não variam claramente para se definir uma melhor técnica. Percebe-se também que os estudos que utilizam uma quantidade maior de parâmetros (considerando ainda sua significância) apresentam percentagens maiores de melhoria.

Os coeficientes de correlação dos APs entre os próprios APs e entre os parâmetros de orientação exterior são tão importantes quanto a percentagem de melhoria. Cada combinação de parâmetros depende do tipo de equipamento (pulso ou fase), e do próprio equipamento, sendo que já foi mostrado que os parâmetros de um mesmo equipamento mudam com o tempo (LICHTI, 2007). Todavia, no geral, os LSTs que funcionam por fase (Faro 880, Faro Phantom 3D, tendem a ter uma melhor percentagem de melhoria após a calibração

TABELA 2 - PERCENTAGEM DE MELHORIA DOS LST APÓS CALIBRAÇÃO

Autores	Tipo de Leitura	LST	Melhoria		
			ρ	θ	α
Abbas et al., 2014	Ponto	Faro Phanton 120	29%	10%	6%
Abbas et al.., 2015	Ponto	Faro Focus 3D, Phanton 120	determina correlação entre parâmetros		
Al-Manasir, Lichti, 2015	Ponto	Leica HDS7000	-	41 e 45%	54 e 87%
Bae e Lichti, 2007	Plano	Faro 880	26%	67%	68%
	Ponto	Faro 880	21%	4%	11%
Chan et al 2015	Cilindro	Faro Focus 3D, Leica C10	determina correlação entre parâmetros		
Chan e Lichti, 2012	Plano	Faro Focus 3DLeica HDS6100	determina correlação entre parâmetros		
	Cilindro	Leica HDS 6100	determinação de parâmetros e suas correlações		
Chan et al, 2015	Cilindro	Leica HDS6100	determina correlação entre parâmetros		
Chow et al, 2012	Ponto	Faro Focus 3D, Leica HDS6100	2 e 2%	10 e 30%	10 e 1%
Chow et al., 2011	Plano	Leica HDS6100, Trimble GS200	5%	6~%	10%
Garcia-San-Miguel, Lerma, 2013	Ponto	Faro Focus 3D	36-48%	30-80%	31-74%
Gielsdorf et al., 2004	Plano	Protótipo	determinação de parâmetros e suas correlações		
Lerma, Garcia-San-Miguel, 2014	Ponto	Faro Phanton 800, Leica HDS3000	30 e 70%	15 e 4%	15 e 8%
Lichti, 2007	Ponto	Faro 880	determinação de parâmetros e suas correlações		
Lichti, 2010	Ponto	Faro 880	determinação de parâmetros e suas correlações		
Licti, Licht, 2006	Plano	Faro 880	36%	30%	31%
Reshetuyk, 2010	Ponto	Leica ScanStation	determina correlação entre parâmetros		
Schneider, 2009	Ponto	Riegl LMS-Z420i	determina parâmetros		

Além disso, é importante frisar que os algoritmos para calibração ponto a ponto e por plano são menos elaborados que a calibração por cilindro. Portanto, atualmente, a calibração por plano tende a ser a mais recomendada por possuir menos alvos, algoritmo mais fácil e consegue resultados de melhoria tão bons quanto a calibração ponto a ponto.

4 - CONCLUSÃO

Diante dos resultados expostos é possível perceber uma clara melhoria nos equipamentos independentes do método utilizado. Pode-se notar que a auto-calibração baseada em cilindros ainda deve ser mais estudada, contudo mostra ser uma boa calibração na necessidade de se realizar uma auto-calibração em campo. A auto-calibração baseada em planos pode ser comparada à auto-calibração ponto a ponto e inclusive mostra resultados significantes. Entretanto, a auto-calibração por pontos ainda é o método mais utilizado.

É importante ressaltar que a definição dos parâmetros de calibração (ou parâmetros adicionais) depende exclusivamente do aparelho a ser utilizado, embora os autores tenham selecionado alguns APs chave para seus respectivos trabalhos. Portanto, recomenda-se fortemente estudos de calibração do LST utilizando os métodos apresentados e aplicá-los para cada equipamento, mesmo que este equipamento seja do mesmo modelo de um dos equipamentos já testados.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo gostariam de agradecer a Shane Leknys e Amadeu Venturin pela revisão de texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, M.A. et al., 2015. Terrestrial laser scanners self-calibration study: datum constraints analyses for network configurations. Internat. Arch. of Photog., Remot. Sens. and Spat. Info., Vol. XL, Nº 2, pp. 1-9.

Al-Manasir, K. e Lichti, D.D., 2015. Self-Calibration of a Leica HDS7000 Scanner, em FIG Working Week 2015. Sofia, Bulgaria, pp. 1-12.

Bae, K. e Lichti, D.D., 2007. On-site self-calibration using planar features for terrestrial laser scanners. Workshop on Laser Scanning and SilviLaser. Finlândia, pp14-19.

Boehler, W. e Marbs, A., 2003. Investigating Laser Scanner Accuracy. Internat. Arch. of Photog., Remot. Sens. and Spat. Info., Vol. 34, Nº 5, pp. 696-701.

Borges, P.F., 2017. Lasers Scanners Terrestres: Desenvolvimento de metodologias para análise e acurácia. São Paulo, Brasil: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pp 205.

Chan, T.O. e Lichti, D.D., 2012. Cylinder-based self-calibration of a panoramic terrestrial laser scanner. XXII em ISPRS Congress, Melbourne, Australia, pp 169-174.

Chan, T.O.; Lichti, D.D. e Belton, D., 2015. A rigorous cylinder-based self-calibration approach for terrestrial laser scanners, em ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen., Vol. 99, pp. 84-99.

Chow, J.C.; Lichti, D.D. e Glennie, C., 2011. Point-based versus plane-based self-calibration of static terrestrial laser scanner, em ISPRS Calgary 2011 Workshop Calgary, Canadá, pp. 121-126.

Chow, J.C.; Lichti, D.D. e Teskey, W. F., 2012. Accuracy assessment of the Faro Focus3D and Leica HDS6100 panoramic-type terrestrial laser scanner through point-based and plane-based user self-calibration, em FIG Working Week 2012, Roma, Itália, , pp. 610-625.

Gielsdorf, F.; Rietdorf, A. e Gruendig, L., 2004. A Concept of the Calibration of Terrestrial Laser Scanner, em FIG Working Week 2004. Atenas, Grécia, pp. 22-27.

Lerma, J.L. e García-San-Miguel, D., 2013. Geometric calibration of a terrestrial laser scanner with local additional parameters: An automatic strategy. ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen., Vol. 79, pp. 122-136.

Lerma, J.L. e García-San-Miguel, D., 2014. Self-calibration of terrestrial laser scanners: selection of the best geometric additional parameters. ISPRS Annals of the Photog., Rem. Sen. and Spa. Info. Sci., Vol. II, Nº 5, pp. 219-226.

Lichti, D.D. e Licht, M.G., 2006. Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment. Internat. Arch. of Photog., Remot. Sens. and Spat. Info., Vol. XXXVI, Nº 5, pp. 155-160.

Lichti, D.D., 2007. Error modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner system. ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen., Vol. 61, Nº 5, pp. 307-324.

Lichti, D.D., 2009. The impact of angle parametrisation on terrestrial laser scanner self-calibration. Internat. Arch. of Photog., Remot. Sens. and Spat. Info., Vol. XXXVIII, Nº 3, pp. 171-176.

Lichti, D.D., 2010. Terrestrial Laser Scanner self-calibration: Correlation sources and their mitigation. ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen.,Vol. 65 , Nº 1, pp. 93-102.

Lichti, D.D.; Chow, J. e Lehamy, H., 2011. Parameter de-correlation and model-identification in hybrid-style terrestrial laser scanner self-calibration. ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen., Vol. 66, Nº 3, pp. 317-326

Reshetuyk, Y., 2009. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Estocolmo, Escócia, Royal Institute of Technology (KTH), p 174.

Reshetyuk, Y., 2010. A unified approach to self-calibration of terrestrial laser scanner. ISPRS Journal of Photo. and Rem. Sen., Vol. 65 Nº 5, pp. 445-456.

Schneider, D., 2009. Calibration of a Riegl LMS-Z420i based on a multistation adjustment and geometric model with additional parameters. Internat. Arch. of Photog., Remot. Sens. and Spat. Info, Vol. XXXVIII, Nº 3, pp. 177-182.

Vosselman, G. e Maas, H., 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Editora: Whittles Publishing, p. 337.