UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

Alexandre Machado Xavier

EMPREGO DE INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA/GEODÉSICA NO CONTEXTO DA NBR 14645: APLICAÇÕES AO CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES E AO CADASTRO

Recife
2017

Alexandre Machado Xavier

EMPREGO DE INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA/GEODÉSICA NO CONTEXTO DA NBR 14645: APLICAÇÕES AO CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES E AO CADASTRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientadora: Profa. Dr. Techn. Andréa de Seixas

Recife

2017

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

X3e Xavier, Alexandre Machado.
Emprego de instrumentação topográfica/geodésica no contexto da NBR 14645: Aplicações ao Controle Dimensional de Edificações e ao Cadastro / Alexandre Machado Xavier. – 2017.
124 f.: il., fig. tab.

Orientadora: Profa. Dra. Techn. Andréa de Seixas.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2017.
Inclui referências, apêndices e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. NBR 14645. 3. Instrumentação topográfica e geodésica. 4. Controle dimensional. 5. Cadastro de imóveis. 6. Levantamento 3D de edificações I. Seixas, Andréa de (Orientadora). II. Título.

551.46 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-2018/ 135

ALEXANDRE MACHADO XAVIER

EMPREGO DE INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA/GEODÉSICA NO CONTEXTO DA NBR 14645: APLICAÇÕES AO CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES E AO CADASTRO

Monografia apresentada na disciplina CA 448 Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para a obtenção do grau de Engenheiro Cartógrafo, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, em 13 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora

Prof.ª Dr. Techn. Andréa de Seixas (Orientadora)
Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. José Eduardo F. de Oliveira
Departamento de Engenharia Mecânica – Instituto Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Júnior
Departamento de Engenharia Cartográfica – Universidade Federal de Pernambuco

Apresentado em 13/12/2017.

Conceito: _____

RECIFE

2017

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Ana Cicilia Pereira de Lima, pela compreensão e apoio dado durante toda a jornada deste curso e pelo inestimável auxílio dado às atividades de campo.

Aos meus pais, Antônio Paulo Xavier e Neli Machado, por todo o apoio que tem prestado à minha formação neste curso de Engenharia Cartográfica.

À Profa. Dra. Techn. Andrea de Seixas, pela orientação.

Ao Prof. Dr. José Eduardo F. de Oliveira e Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Júnior, integrantes da Banca Examinadora.

Ao Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés pela disponibilização do *software* AstGeoTop.

À Jacqueline Maria da Conceição, José Paulo Santana e Ermerson de Vasconcelos Silva pelo apoio de campo.

Ao Projeto “A Contribuição da Geodésia e o Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica” e ao Projeto “A Contribuição da Geodésia Aplicada para a Discretização de Edificações Prediais – Continuação nº 454844/2012-3 Edital PQ-Multiusuário 2014”, coordenados pela Profa. Andréa de Seixas.

À Arquiteta Lêda Cruz, coordenadora de Cadastro de Bens Imóveis da Prefeitura da Cidade Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, por disponibilizar as plantas de projeto do edifício NIATE CTG/CCEN localizado no Campus desta universidade.

Aos Laboratórios de Topografia (LATOP) e Geodésia (LAGEO), do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, por disponibilizarem os equipamentos e computadores que tornaram possíveis os levantamentos de campo e processamentos de dados deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

A atualização cadastral tem sido um dos maiores desafios para o cadastro brasileiro. Além da baixa conscientização por parte de proprietários, empreendedores da construção civil e até do poder público a respeito da importância desta área, há pouca normatização vigente sobre o assunto e mesmo assim, estas normas são raramente consideradas, seja por falta de conhecimento das partes envolvidas ou seja por conveniência prática. Este Trabalho de Conclusão de Curso propõe trazer à luz as normas brasileiras referentes à elaboração do levantamento "como construído" (*as built*) na atividade de Construção Civil. Ressaltando-se como elas podem atender tanto à demanda de controle dimensional da obra quanto a entrada de dados para a atualização cadastral. Uma vez que se trata de um procedimento que já é realizado por padrão nas obras de Engenharia Civil e sua inserção ao cadastro não geraria nenhum ônus extra tanto para o empreendedor quanto para o poder público. Neste trabalho foi contemplada uma metodologia de levantamento "*as built*" para uma edificação já existente no campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco, situada na cidade do Recife, tendo como objetivos a definição de uma rede de referência planialtimétrica georreferenciada, o controle do posicionamento geodésico da edificação, o controle dimensional de uma amostra de pilares e a distância vertical de pavimentos e a elaboração de um desenho final com o original do levantamento topográfico, de forma a poder ser incluído na atualização cadastral junto ao registro público e ao mesmo tempo servir como ferramenta de controle dimensional da obra.

Palavras-chave: NBR 14645. Instrumentação topográfica e geodésica. Controle dimensional. Cadastro de imóveis. Levantamentos 3D de edificações.

ABSTRACT

The cadastral update has been one of the greatest challenges for the Brazilian cadastre. In addition to the lack of awareness on the part of landowners, construction enterpreneurs and even public authorities regarding the importance of this area, there is little current regulation on the subject and even then, these norms are rarely considered, either because of lack of knowledge of the parties involved or for practical convenience. This Final Paper proposes to foreground the Brazilian norms regarding the elaboration of the as built survey in the activity of Construction, highlighting how they can meet both the demand for dimensional control of the construction and the entry of data for the cadastral update, since it is a procedure that is already carried out by default in the Construction Engineering works and its insertion in the registry would not generate any extra burden for both the entrepreneur and the public power. In this Final Paper, a as built survey methodology was considered for an existing building on the Joaquim Amazonas Campus of the Federal University of Pernambuco, located in the city of Recife, with the objective of defining a georreferenced planialtimetric network, position control the dimensional control of a sample of pillars and the vertical distance of pavements of a building and the elaboration of a final drawing with the original topographical survey, so that it can be included in the cadastral update next to the public registry and at the same time serve as a tool for dimensional control of the construction.

Keywords: NBR 14645. Topographical and geodetic instruments. Dimensional control. Real estate registration. 3D surveys of buildings.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estação total Topcon GPT 3200N, Eixos de rotação associados de um goniômetro 19
Figura 2 - Componentes da estação total Topcon GPT 3200N 20
Figura 3 - Prisma de reflexão total (esquerda) e montagem de bastão em tripé sobre o alvo 21
Figura 4 - Nível Óptico de Luneta, Mira falante sobre sapata e fios estadimétricos 22
Figura 5 - Correção do erro de índice no método dos pares conjugados 24
Figura 6 - Esquema do método da poligonação na planimetria 27
Figura 7 - Esquema dos métodos da interseção a ré e a vante na Planimetria 29
Figura 8 - Caso especial de interseção a vante 32
Figura 9 - Definição de poligonal de apoio para prumagem plana 33
Figura 10 - Esquema da irradiação na planimetria 34
Figura 11 - Método do nivelamento geométrico com nível visando distâncias iguais para os alvos A e B 35
Figura 12 - Método do nivelamento trigonométrico com estação total em A e alvo em B 35
Figura 13 - Erro de fechamento linear 37
Figura 14 - Localização do NIATE CTG/CCEN em vermelho 41
Figura 15 - Divisão hipotética das parcelas na área de estudo 42
Figura 16 - Fluxograma 1 de planejamento das atividades do TCC 45
Figura 17 - Fluxograma 2 de execução com o detalhamento das metodologias empregadas nas fases de aquisição, processamentos e análises, e geração de produtos 46
Figura 18 - Rede de pontos de referência no entorno do edifício NIATE 47
Figura 19 - Poligonal de referência implantada no entorno do edifício NIATE CTG/CCEN 48
Figura 20 - Poligonais dos levantamentos 1 e 2 no entorno do NIATE 49
Figura 21 - Poligonal definitiva no entorno do NIATE, resultante do levantamento 3 50
Figura 22 - Determinação ponto de apoio E4 52
Figura 23 - Pontos de apoio obtidos por resseção espacial 53
Figura 24 - Posição dos pontos virtuais PV1, PV2 e PV3 e relação com seusrespectivos pontos de referência 54
Figura 25 - Croqui de pontos de detalhe das edificações 57
Figura 26 - Pontos de detalhe das edificações e pontos de apoio topográfico 58
Figura 27 - Levantamento dos pilares P1 e P28 60
Figura 28 - Ponto TOPO3 61
Figura 29 - Marcação do ponto EM5 feita na fachada externa parede da escada de emergência e parafuso que marcou ponto EM3 62
Figura 30 - Localização da casa de força 63
Figura 31 - Disposição e nomenclatura dos pilares do edifício NIATE CTG/CCEN 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas X e Y do lote compreendido pelo perímetro do imóvel 42
Tabela 2 - Coordenadas X e Y SIRGAS2000 da poligonal de referência no entorno do NIATE CTG/CCEN 48
Tabela 3 - Coordenadas da poligonal 3 no entorno do NIATE CTG/CCEN 51
Tabela 4 - Coordenadas da poligonal 3 implantada e ajustadas por MMQ 51
Tabela 5 - Coordenadas do vértice E4 52
Tabela 6 - Coordenadas dos pontos E6, E7, E10 e E11 53
Tabela 7 - Coordenadas dos pontos virtuais PV1, PV2 e PV3 54
Tabela 8 - Coordenadas do ponto E8. 55
Tabela 9 - Coordenadas altimétricas dos pontos de apoio obtidas por nivelamento geométrico 55
Tabela 10 - Coordenadas planialtimétricas georreferenciadas da poligonal de apoio 56
Tabela 11 - Comparação entre as altitudes obtidas pelo nivelamento trigonométrico e geométrico para a poligonal de apoio 56
Tabela 12 - Coordenadas dos pilares P1 e P36, alto e baixo 59
Tabela 13 - Coordenadas dos pilares P9 e P28, alto e baixo 59
Tabela 14 - Coordenadas de TOPO4 61
Tabela 15 - Coordenadas de TOPO1, TOPO2 E TOPO3 61
Tabela 16 - Coordenadas dos pontos da escada de emergência 62
Tabela 17 - Coordenadas dos pontos da casa de força 63
Tabela 18 - Alturas de pavimentos e comparação entre métodos 64
Tabela 19 - Discrepâncias planimétricas entre os pontos alto e baixo dos pilares 65
Tabela 20 - Distâncias no sentido norte-sul na parte norte 66
Tabela 21 - Distâncias no sentido norte-sul na parte central 67
Tabela 22 - Distâncias no sentido norte-sul na parte sul 67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Az: Azimute

CCEN: Centro de Ciências Exatas e da Natureza

CEERMA: Centro de Estudos e Ensaios em Risco e Modelagem Ambiental

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CTG: Centro de Tecnologia e Geociências

DI: Distância Inclinada

DH: Distância Horizontal

DV: Distância Vertical

DQF: Departamento de Química Fundamental

ETA: Estação de Tratamento de água

FIG: Federação Internacional de Geômetras

Hz: Ângulo Horizontal

IC: Iniciação Científica

INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

LASER: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação

LITPEG: Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis

MMQ: Método dos Mínimos Quadrados

MOCEAN: Museu de Oceanografia

NBR: Norma Brasileira

NIATE: Núcleo Integrado de Atividades de Ensino

PD: Posição Direta

PI: Posição Inversa

PV: Ponto Virtual

RBMC: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RIBaC: Rede INCRA de Bases Comunitárias

RN: Referência de Nível

RRC: Rede de Referência Cadastral

SIRGAS2000: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

STL: Sistema Topográfico Local

TCC: Trabalho de Conclusão de curso

UFPE: Universidade Federal de Pernambuco

V: Ângulo vertical

Z: Ângulo zenital

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	13
2	**OBJETIVOS**	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	**NORMATIZAÇÃO**	14
3.1	NBR 14645	14
3.1.1	**NBR 14645-1/2001**	15
3.1.2	**NBR 14645-2/2005**	15
3.1.3	**NBR 14645-3/2005**	15
3.2	NBR 13133/1994	16
3.3	NBR 14166/1998	16
4	**CADASTRO TERRITORIAL DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS**	16
4.1	DEFINIÇÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS	17
4.2	DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA DE UM IMÓVEL COM BASE NA NBR 14645	17
4.3	CONTRIBUIÇÃO DA NBR 14645 PARA O REGISTRO PÚBLICO E CADASTRO DE PEQUENAS PREFEITURAS	18
5	**MÉTODOS TERRESTRES DE MEDIÇÃO**	19
5.1	INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS	19
5.1.1	**Estação total**	19
5.1.2	**Nível óptico de luneta**	21
5.1.3	**Trena**	22
5.2	FONTES DE ERROS EM INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA	23
5.3	MÉTODO DOS PARES CONJUGADOS	24
5.4	MÉTODO DAS SÉRIES	25
5.5	MÉTODO DA POLIGONAÇÃO 3D	26
5.6	MÉTODO DA INTERSEÇÃO A RÉ	28
5.7	MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE	30
5.8	MÉTODO POLAR (IRRADIAÇÃO 3D)	33
5.9	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	34
5.10	NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO	35
6	**AJUSTAMENTO E CONTROLE DE ERROS**	36
6.1	AJUSTAMENTO TRADICIONAL DE POLIGONAIS FECHADAS	36
6.2	AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	38
6.3	CONTROLE ESTATÍSTICO DE ERROS	39
7	**METODOLOGIA, RESULTADOS E ANÁLISES**	41
7.1	ÁREA DE ESTUDO	41
7.2	MATERIAIS	43
7.2.1	**Materiais para a realização dos experimentos de campo**	43
7.2.2	**Materiais para a realização dos procedimentos de escritório**	43
7.3	MÉTODOS	44
	IMPLANTAÇÃO E DEFINIÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA NO ENTORNO DA EDIFICAÇÃO	46
	Método da poligonação	46
7.4.1.1	Levantamento 1	48
7.4.1.2	Levantamento 2	49
7.4.1.3	Levantamento 3	50

7.4.2 Método da interseção a ré 51
7.4.3 Método da interseção a vante 54
7.4.4 Método do nivelamento geométrico 55
7.4.5 Método do nivelamento trigonométrico 56
7.5 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DAS EDIFICAÇÕES E BENFEITORIAS 56
7.5.1 Edificações – Método da interseção a vante 56
7.5.1.1 Levantamento dos pilares externos do edifício principal 58
7.5.1.2 Levantamento dos pontos de topo do edifício 60
7.5.1.3 Levantamento da fachada externa da escada de emergência 61
7.5.1.4 Levantamento da casa de força 62
7.5.2 Método da irradiação 3D – Estacionamento e calçadas 63
7.5.2.1 Levantamento do estacionamento norte e leste 63
7.5.2.2 Levantamento das calçadas 64
7.6 CONTROLE DIMENSIONAL DE PILARES E PAVIMENTOS 64
7.6.1 Medição e análise de alturas entre os pavimentos 64
7.6.2 Análise de verticalidade dos pilares 65
7.6.3 Análise dimensional de pilares 65
7.7 ORIGINAL TOPOGRÁFICO E PLANTA PLANIALTIMÉTRICA E CADASTRAL 68
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 68
REFERÊNCIAS 70
APÊNDICE A – COORDENADAS DOS PONTOS NO ESTACIONAMENTO DO EDIFÍCIO NIATE CTG/CCEN POR IRRADIAÇÃO 3D 73
APÊNDICE B – COORDENADAS DOS PONTOS DAS CALÇADAS DO EDIFÍCIO NIATE CTG/CCEN POR IRRADIAÇÃO 3D 74
APÊNDICE C – ANÁLISE DIMENSIONAL DE PILARES 75
APÊNDICE D – ANÁLISE DE DISTÂNCIAS ENTRE PILARES NO SENTIDO LESTE-OESTE 76
APÊNDICE E – ALGORITMO EM MATLAB PARA A INTERSEÇÃO A RÉ 77
APÊNDICE F – ALGORITMO EM MATLAB PARA A INTERSEÇÃO A VANTE 94
APÊNDICE G – ALGORITMOS E RESULTADOS EM MATLAB PARA A IRRADIAÇÃO 3D 108
APÊNDICE H – CADERNETA DE CAMPO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DOS PAVIMENTOS EM EXCEL 117
APÊNDICE I - PLANTA PLANIALTIMÉTRICA CADASTRAL E ORIGINAL TOPOGRÁFICO 118
ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO PELO ASTGEOTOP DA POLIGONAL DO 3º LEVANTAMENTO 120
ANEXO B – RELATÓRIO ASTGEOTOP DAS INTERSEÇÕES A VANTE 124

1 INTRODUÇÃO

O Cadastro é uma importante ferramenta de controle territorial. Em todo o país, tem crescido a discussão e a conscientização sobre os benefícios da implementação do cadastro tanto para o setor público quanto para a segurança do direito de propriedade. A eficácia de um bom cadastro depende de sua constante manutenção e integração com o Registro de Imóveis, o qual deve ser constantemente alimentado com informações tanto tabulares quando espaciais. Essas informações espaciais devem estar devidamente georreferenciadas a um único Sistema de Referência, e devem ser obtidas dentro de uma acurácia estabelecida em normas específicas.

O “as built” ou “como construído”, é um documento elaborado após a conclusão da obra de uma edificação, onde consta um levantamento topográfico detalhado da edificação, georreferenciado às redes de referência oficiais, para fins de controle dimensional da obra. Este documento deve contribuir para a atualização cadastral do poder público na jurisdição onde o território da obra se encontra.

A Norma Brasileira (NBR) 14645, em sua parte 1 (ABNT,2001), parte 2 (ABNT, 2005) e parte 3 (ABNT,2005) é a norma brasileira que abrange a atividade de “como construído” (“as built”). Há uma percepção do desconhecimento da NBR14645 como importante fonte de alimentação ao Cadastro, uma vez que há pouca divulgação de trabalhos, que utilizem os produtos do “as built” para a utilização no Registro de Imóveis e no Cadastro, atividade esta que poderia minimizar os custos referentes a atualização cadastral por parte do poder público. Ressalta-se que não existem órgãos regulamentados para a fiscalização do controle dimensional e do posicionamento geodésico das edificações. Além disso, as medições propostas neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) são realizados na atualidade a trena.

Este TCC tem como proposta utilizar o levantamento “as built” como subsídio para atualização cadastral de registro público, uma vez que este levantamento já é realizado durante e ao final de obras de engenharia civil, utilizando instrumentação e metodologia topográfica/geodésica com o devido controle dimensional.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Contemplar uma metodologia para aperfeiçoar o emprego de instrumentos e métodos topográficos/geodésicos, dentro do contexto da NBR 14645, tendo por finalidade a aplicação para o controle dimensional de edificações prediais, registro público e cadastro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir pontos de referência planimétrica e altimétrica empregando métodos topográficos/geodésicos no entorno de uma edificação segundo a NBR 14645-1 (ABNT, 2001);
- Controlar o posicionamento geodésico da edificação e benfeitorias no lote segundo a NBR 14645-1 e a NBR 14645-2 (ABNT,2005);
- Realizar o controle dimensional de uma amostra de pilares e distância vertical entre dois pavimentos da edificação segundo a NBR 14645-3 (ABNT,2005);
- Elaborar desenho final com o original do levantamento topográfico, segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994) e a NBR 14645-1 (ABNT, 2001), e analisar a possível contribuição para o registro público e o cadastro de pequenas prefeituras.
- Estabelecer uma metodologia de medições angulares e lineares com garantia a confiabilidade.

3 NORMATIZAÇÃO

3.1 NBR 14645

A NBR 14645, em sua parte 1 (ABNT,2001), parte 2 (ANBT, 2005) e parte 3 (ABNT,2005) é a norma brasileira que abrange a atividade de "*as built*" no Brasil. A parte 1 da norma refere-se ao levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área de até 25 000 m², para fins de estudos, projetos e edificação. A parte 2 trata do levantamento planialtimétrico para registro público, e a parte 3 do levantamento planialtimétrico para locação topográfica e controle dimensional da obra. O *as built* é realizado após a finalização da obra, e fornece o detalhamento da

edificação da forma como realmente foi construída, sendo por essa razão de grande valia para a atualização cadastral além de identificar erros cometidos durante a construção. A própria norma recomenda a utilização deste produto para a atualização do registro público, fornecendo subsídio para esta atividade. Esta norma também fornece diretrizes e orientações para projetos de retificação cadastral (em conjunto com a NBR 13133/1994 – Execução de Levantamentos Topográficos e NBR 14166/1998 – Rede de Referência Cadastral Municipal).

3.1.1 NBR 14645-1/2001

Segundo a ABNT (2001), a Comissão de Estudo responsável pela elaboração desta norma entendeu que o “como construído” deveria começar pelo terreno, onde se desse o projeto e a construção da edificação. Portanto, esta primeira parte da norma determina as orientações e procedimentos a serem seguidos para o levantamento planialtimétrico e cadastral de um imóvel urbanizado com área de até 25.000 m², para a finalidade de estudos, projetos e edificação, em concordância com a NBR 14166/1998 e NBR 13133/1994. Nesta norma está definida a estruturação deste levantamento, as atividades e procedimentos a serem realizados (tais como: a poligonação, nivelamento e detalhamento de objetos), o processamento e ajustamento dos dados obtidos e os produtos a serem gerados, como o original topográfico, o cálculo das divisas e área, o desenho topográfico final e o relatório técnico.

3.1.2 NBR 14645-2/2005

Esta parte da norma refere-se ao procedimento levantamento planimétrico para fins de registro público e retificação de imóvel urbano. Complementa a NBR 14645-1 com atenção a informação cadastral, e oferece uma sistemática de trabalho para a elaboração de um laudo técnico para um trabalho de retificação cadastral;

3.1.3 NBR 14645-3/2005

Esta parte da norma refere-se aos procedimentos de locação topográfica e controle dimensional de obra. Nela estão as orientações para a elaboração do “como construído” durante e após a execução da obra, para o controle dimensional da terraplenagem e locação de fundações, eixos, pilares e pavimentos.

3.2 NBR 13133/1994

Esta norma fornece os procedimentos e padrões adotados no Brasil para trabalhos de levantamento topográfico. Define os métodos a serem empregados em campo (poligonação e nivelamento trigonométrico, taqueométrico e geométrico), a classificação dos instrumentos utilizados para estes levantamentos segundo sua precisão, o cálculo para processamento e ajustamento dos dados obtidos e os tipos de documentos topográficos gerados após os levantamentos, além de modelos para cadernetas de campo e monografias de marcos implantados.

Segundo Silva & Seixas (2015), a NBR 13133/1994, embora traga recomendações para o ajustamento das poligonais, não utiliza o Método dos Mínimos Quadrados. Ela também não trata dos métodos da bilateração, irradiação simples e dupla e interseção a ré e a vante, e está desatualizada em relação às tecnologias atuais de levantamento topográfico.

3.3 NBR 14166/1998

Esta norma trata da implantação de redes de referência cadastrais municipais, fornecendo o procedimento para esta atividade. Nela são definidas as referências de nível para a implantação de sistemas topográficos locais, as quais as poligonais de apoio devem ser amarradas. Segundo Silva et al. (2015), as atividades cadastrais e os levantamentos cartográficos representadas no Plano Topográfico Local com escalas entre 1:1000 até 1:1 devem ser amarradas a estas redes de referência. A norma estabelece definições dos elementos do Sistema Topográfico Local (STL), além do dos procedimentos geodésicos e topográficos para sistematização dos levantamentos executados no âmbito municipal e as condições necessárias para a implantação de um Sistema Topográfico Local.

4 CADASTRO TERRITORIAL DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS

O Cadastro pode ser definido como um inventário público de dados sobre parcelas territoriais de um distrito ou país, organizados de forma metódica e sistemática, baseado no levantamento dos limites destas parcelas (FIG, 1998). O princípio fundamental por trás de um cadastro é a associação da informação geoespacial com um banco de dados, tendo a parcela como unidade. Segundo

Santos et al. (2013), a definição mais difundida de parcela é a porção de território com condições homogêneas de domínio.

Neste TCC, será adotado o conceito de parcela como unidade definida por limites territoriais definidos, submetida a um regime jurídico único.

4.1 DEFINIÇÃO DE CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Será usado, neste TCC, os tipos de divisões do parcelamento urbano brasileiro, definidos na NBR 14166/1998 e NBR 14645-2/2005, além das definições contidas nestas normas:

- Gleba: terreno que ainda não foi loteado nem desmembrado;
- Quadra: unidade básica de terreno urbano, loteada ou não, pública ou privada, referenciada a logradouros que lhe são adjacentes para efeito de controle e codificação em cadastros técnico e imobiliário fiscal;
- Lote: Menor parcela de terreno, resultante da divisão de uma gleba, destinada à construção de edificações, agricultura ou lazer;
- Desmembramento: Divisão de uma gleba, quadra ou lote, sem abertura de vias de circulação, aproveitando o sistema viário existente;
- Loteamento: Divisão de uma gleba, quadra ou lote, com abertura de vias de circulação;
- Intramuros: Imóvel situado dentro do perímetro constante no Registro de Imóvel.
- Benfeitoria: Edificação ou obra humana destinada a conservar, melhorar ou embelezar o terreno da parcela.

4.2 DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA DE UM IMÓVEL COM BASE NA NBR 14645

De acordo com a NBR 14645-1 (ABNT,2001), a descrição geométrica de um imóvel deve compreender um levantamento planialtimétrico e cadastral da área do imóvel, representando planialtimetricamente todos os detalhes naturais e artificiais presentes, onde deve abranger o imóvel propriamente dito, as vias adjacentes e alinhamentos prediais opostos e os imóveis lindeiros em uma faixa de 3 metros dos limites do imóvel, podendo ser ampliada em casos especiais. O levantamento planialtimétrico deve ser realizado com equipamento de medição angular e linear

classe 2 da NBR 13133/1994, e amarrado a uma Rede de Referência Cadastral Municipal em conformidade com a NBR 14166/1998, podendo ser amarrado a um Sistema de Coordenadas planorretangulares locais, caso tal rede não exista próximo à área. O levantamento pode ser complementado a trena, que estejam apoiadas em pontos levantados por irradiação polar (ABNT,2001);

O detalhamento planimétrico deve levantar todos os acidentes naturais e artificiais presentes na área de interesse, tais como Referências de Nível (RN) implantadas, muros, marcos e piquetes, cercas, massas arbóreas, árvores isoladas com caules maiores que 5 cm, contorno de edificações existentes e número de pavimentos, guias/meio-fio, níveis dos terrenos vizinhos, incluindo subsolos edificados, recuo das edificações lindeiras, indicando o número de pavimentos, uso, nome da via a que faz frente e respectivos números, postes da rede pública de energia elétrica com identificação, tampas de poços e caixas de passagem, córregos, bocas-de-lobo e elementos de drenagem superficial, talvegues, taludes, rochas e outros julgados de interesse aos estudos (ABNT,2001).

4.3 CONTRIBUIÇÃO DA NBR 14645 PARA O REGISTRO PÚBLICO E CADASTRO DE PEQUENAS PREFEITURAS

Além de determinar procedimentos e requisitos para a elaboração dos levantamentos “as built”, a NBR 14645 também fornece amplo subsídio para as atividades relacionadas a atualização cadastral. A NBR 14645-2/2005 contém sistemáticas detalhadas de trabalho para as seguintes atividades:

- Apuração de remanescente: visa apurar o restante de um imóvel que passou por várias vendas registradas ou desapropriações, com origem em um único registro;
- Unificação de imóveis: caracterização da área resultante da fusão de dois registros;
- Averbação de abertura de rua: consignação de confinância de imóvel com logradouro público omitido pelo registro imobiliário, ou abertura de via ou logradouro público oficial, indicando a área do imóvel desfalcada
- Levantamento cadastral de cursos d’água;
- Desapropriações.

Além disso, a NBR 14645-2 também fornece um modelo de laudo técnico detalhado para a execução destas atividades. As sistemáticas de trabalho fornecidas pelo conjunto da NBR 14645 podem ser de grande valia para pequenas prefeituras, que ainda não possuem uma regulamentação definida para o Cadastro, ajudando a organizar a atividade.

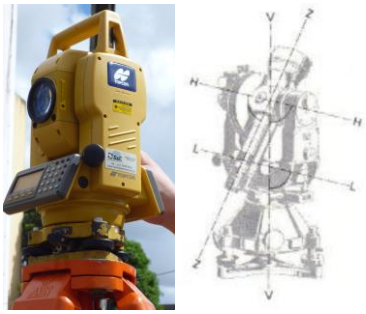
5 MÉTODOS TERRESTRES DE MEDIÇÃO

5.1 INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS

5.1.1 Estação total

A Estação Total (Figura 1) é um equipamento digital dotado de dois instrumentos, um goniômetro para medições angulares e um distanciômetro eletrônico para medições de distância. O goniômetro eletrônico é baseado na leitura por fotodiodos de um sinal de luz refletida ou refratada por um círculo de cristal (limbo) codificado. Conforme a luz passa ou é cortada pelos traços gravados no limbo, os fotodiodos enviam os pulsos de luz recebidos para um processador digital, o qual calcula a diferença de direção no trânsito do limbo. Uma Estação Total conta com dois limbos, um horizontal, perpendicular ao eixo vertical (ou principal, V), e um vertical, perpendicular ao eixo de rotação da luneta (ou secundário, H) (Figura 1). Já o distânciometro eletrônico é um instrumento que utiliza como princípio o tempo de retorno ou a diferença de fase de um sinal eletromagnético emitido (LASER) após a reflexão em um alvo, para a medição da distância do instrumento até ao alvo (KAHMEN & FAIGG, 1988).

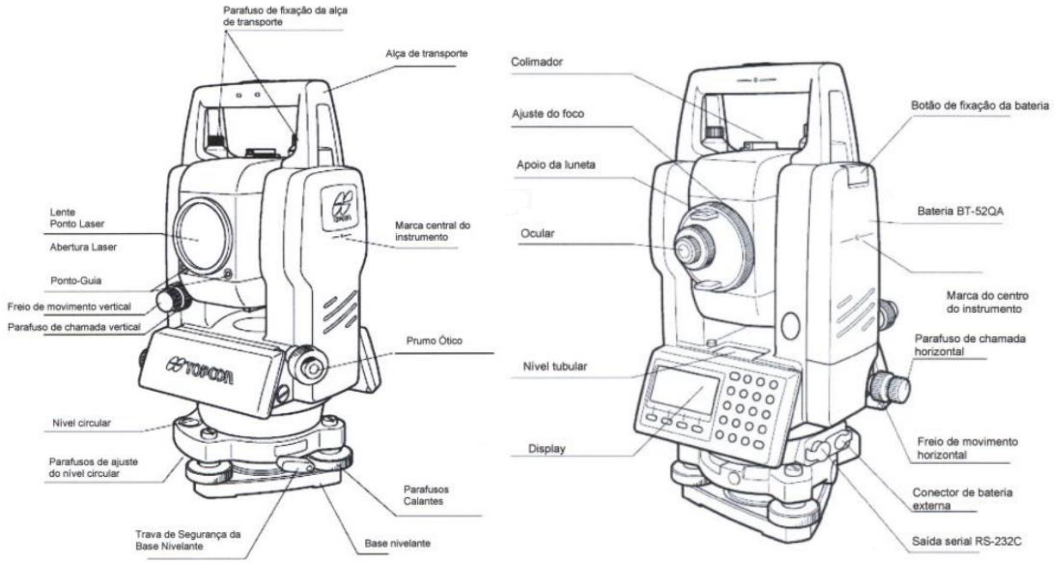
Figura 1 - Estação total Topcon GPT 3200N (esquerda), Eixos de rotação associados de um goniômetro (direita).



Fonte: esquerda - o autor (2017), direita - ESPARTEL (1978).

Para a realização de medições angulares e lineares (distâncias) com estação total, a metodologia empregada consiste em estacionar o instrumento em um vértice (que pode ser um ponto materializado sobre o terreno e de coordenadas conhecidas) sobre um tripé ou base, centralizar o instrumento sobre o ponto da estação, com o auxílio de um prumo óptico ou feixe de LASER visível (dependendo dos recursos da estação total), e após a centralização proceder-se a horizontalização, com o ajuste grosso auxiliado pelo nível circular do equipamento e realizado no tripé até que a bolha do nível circular entre dentro do círculo de tolerância, e o ajuste fino auxiliado pelpelo nível tubular do equipamento e através de parafusos calantes nas três extremidades da base do instrumento (Figura 2), tomando-se o cuidado de manter o instrumento centrado no vértice durante a horizontalização. Terminado os ajustes, verifica-se a horizontalização através do nível tubular e da projeção do LASER no vértice topográfico em diferentes direções do limbo. Uma vez centralizada e horizontalizada, iniciam-se as medições, apontando-se o instrumento para a direção de outro ponto conhecido que será a origem angular (zero) para os alinhamentos horizontais. Este ponto de origem (alinhamento ré) pode ser um ponto de coordenadas pré-determinadas ou um vértice anterior de uma poligonal (seção 5.5). Então, mede-se as direções para os demais pontos referenciados a ele.

Figura 2 - Componentes da estação total Topcon GPT 3200N.



Fonte: TOPCON.

Os alvos podem ser materializados por prismas de reflexão total, em bases ou apoiados em bastões verticalizados manualmente ou com auxílio de tripés (Figura 3). Também é possível a medição sem prisma diretamente para anteparos em edificações. Quando realizadas leituras para alvos em prismas fixados em bastões, as medições de ângulos horizontais devem sempre visar a ponta do bastão junto ao chão, para evitar erros associados a verticalidade do mesmo.

Figura 3 - Prisma de reflexão total (esquerda) e montagem de bastão em tripé sobre o alvo (direita).

Fonte: o autor (2017).

5.1.2 Nível óptico de luneta

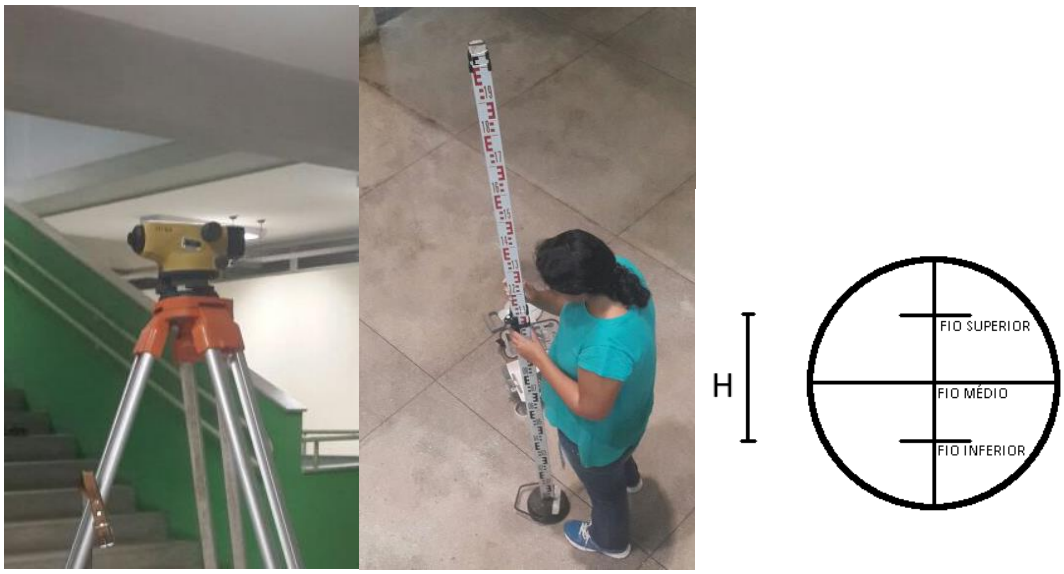
O nível óptico de luneta é um instrumento utilizado para medir desníveis no terreno, através da leitura de uma grande régua graduada em centímetro e disposta na vertical chamada mira falante, a qual fica apoiada sobre uma sapata de material pesado para estabilidade (Figura 4). O nível óptico apresenta uma luneta, onde a cruz filar apresenta um fio de eixo vertical, o qual é dividido por três fios horizontais, chamados fios estadimétricos (Figura 4), um passando no centro do fio vertical chamado fio estadimétrico médio e os outros dois igualmente espaçados acima e abaixo do fio estadimétrico médio, chamados fio estadimétrico superior e fio estadimétrico inferior, respectivamente.

Estes fios estadimétricos estão espaçados de tal forma que é possível medir a distância do instrumento à mira multiplicando-se a diferença das leituras dos fios

superior e inferior pela constante estadimétrica (ou constante de Reichembach) do equipamento, que em geral é 100 (ESPARTEL, 1978).

Para a instalação do nível óptico de luneta, o instrumento é apoiado em um tripé e horizontalizado com ajustes no tripé auxiliados por uma bolha esférica no equipamento.

Figura 4 - Nível óptico de luneta (esquerda), Mira falante sobre sapata (centro) e fios estadimétricos (direita).



Fonte: o autor (2017).

5.1.3 Trena

Uma trena é uma fita graduada em milímetro, , com marcações para metros e centímetros, produzida em aço ou fibra, devendo ser aferida de acordo com a NBR 10123/2012 (trenas de aço) ou NBR 10124/2014 (trenas de fibra). A medição a trena pode ser realizada em lance único, quando a distância a ser medida é menor que o comprimento da trena, ou lances múltiplos, quando a distância é maior.

Medições a trena devem ser realizadas sempre com a fita completamente esticada (visando evitar o erro de catenária), e o mais próximo possível da horizontal entre os dois pontos. Se o desnível entre os pontos medidos for considerável, pode ser necessário empregar balizas metálicas ou de madeira para manter a trena na horizontal (ESPARTEL, 1978).

5.2 FONTES DE ERROS EM INSTRUMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA

As medições envolvendo instrumentação topográfica estão sujeitas aos três tipos de erros, envolvendo qualquer medição em engenharia, que são os erros grosseiros (ou enganos), os erros sistemáticos (ou tendência) e os erros aleatórios (ou acidentais) (GEMAEL, 1994).

Os erros grosseiros podem ser decorrentes do mau emprego das metodologias de medição, falha do equipamento ou descuido do operador do instrumento, e quando não oriundos de falha instrumental podem ser corrigidos com um maior cuidado e observância às metodologias de medição durante a realização das leituras. Segundo o Inmetro (2012), um erro grosseiro é um erro de medição que ultrapassa um valor extremo admitido em especificações ou regulamentos para uma dada medição, instrumento de medição ou sistema de medição, em relação a um valor de referência, sendo denominado este intervalo entre os valores extremos admitidos de erro máximo admissível.

Em Topografia, entre as principais fontes de erros grosseiros, tem-se a má centralização e horizontalização do equipamento consequente de uma má instalação do instrumento em uma estação ou à pancadas ou toques durante as medições, anotação errada das leituras na caderneta de campo, má acuidade visual do operador, não mirar na ponta da base do bastão quando realizando medições com estação total sem centragem forçada e tirar a mira falante da sapata ao virá-la em uma mudança de estação em uma medição com nível óptico.

Os erros sistemáticos são erros que se repetem com previsibilidade nas medições, podendo ser causados por má calibração ou problemas de fabricação do instrumento. Segundo o Inmetro (2012), o erro sistemático é um componente do erro de medição que permanece constante ou varia de forma previsível durante medições repetidas. Estes erros podem ser eliminados realizando-se experimentos para encontrar as constantes de erros no equipamento, e adicionando-se estas constantes às medições realizadas. Em alguns casos pode ser encontrada uma metodologia que elimine este erro.

Em Topografia pode-se ter erros sistemáticos decorrentes de má calibração, fazendo com que o eixo vertical da luneta não seja perpendicular ao plano do limbo

horizontal do instrumento (erro de colimação), ou que em uma medição angular vertical o zero da medição não coincida com o eixo principal (erro de índice).

Os erros aleatórios são a componente do erro de medição que varia de maneira imprevisível em medições repetidas (INMETRO, 2012) Por serem imprevisíveis e frequentes, estes erros são tratados estatisticamente, de forma a obter para a grandeza medida um valor acurado, ou seja, mais próximo possível do valor real, com as medidas situadas dentro de uma precisão, ou seja, uma medida da dispersão das leituras obtidas, o que fornece um valor de incerteza para a medição.

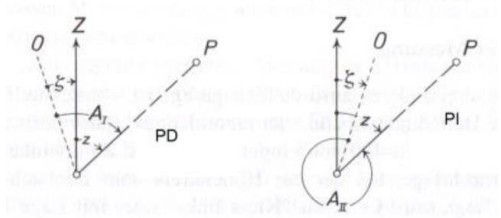
Fontes de erro aleatório em Topografia incluem velocidade do vento sobre o alvo, fadiga do auxiliar que, segurando manualmente o alvo, o faz sair da verticalização, reverberação da luz próxima ao solo em dias quentes e diferenças de refração atmosférica entre o instrumento e o alvo causadas por mudanças de temperatura. Segundo Oliveira (2008), os fatores de erros aleatórios, em geral, são a mão de obra, o método, o meio ambiente, o mensurando e a máquina (5 Ms).

O erro de medição é definido como o valor medido de uma grandeza e um valor de referência, e é a soma do erro sistemático com o erro aleatório (INMETRO, 2012).

5.3 MÉTODO DOS PARES CONJUGADOS

Este método consiste em realizar-se duas medidas, uma em posição direta (PD) e outra em posição inversa (PI) da luneta da estação total, com visada para o mesmo alvo. Este método tem como objetivo eliminar os erro de índice (Figura 5), colimação e de verticalidade, já que estes se anulam quando são somadas as leituras em PD e em PI (ESPARTEL, 1978).

Figura 5 - Correção do erro de índice no método dos pares conjugados.



Fonte: KAHMEN e FAIGG (1988).

Segundo Kahmen & Faigg (1988), se PD>PI, o valor final do ângulo horizontal Hz medido será:

$$Hz = \frac{HzPD + HzPI + 180°}{2} \quad (1)$$

Se PD<PI, o valor de Hz será:

$$Hz = \frac{HzPD + HzPI - 180°}{2} \quad (2)$$

As equações (1) e (2) podem ser resumidas na Equação (3) seguinte:

$$Hz = \frac{HzPD + HzPI}{2} \pm 90° \quad (3)$$

Onde o sinal será positivo se PD>PI e negativo se PD<PI.

O erro de índice ζ pode ser definido como a diferença entre o ângulo zenital medido A e o ângulo zenital real z em PD e a diferença entre 360°, o ângulo zenital medido e o ângulo zenital real (Figura 4). Rearranjando, tem-se as expressões (4) e (5) (KAHMEN & FAIGG, 1988).

$$z + \zeta = +A_I \quad (4)$$

$$z - \zeta = 360° - A_{II} \quad (5)$$

Portanto:

$$2z = (360° + A_I) - A_{II} \quad (6)$$

Pode-se então encontrar o valor do ângulo zenital Z sem erro de índice:

$$Z = \frac{360° + A_I - A_{II}}{2} \quad (7)$$

Onde A_I é a leitura de Z em PD e A_{II} é a leitura de Z em PI.

5.4 MÉTODO DAS SÉRIES

Neste método, realizam-se várias séries de leituras repetidas para um mesmo alvo. O valor final das medições será a média das leituras realizadas Este método permite o controle estatístico dos erros aleatórios envolvidos, pois permite obter o valor das incertezas das medições pela equação (5) (KAHMEN & FAIGG, 1988):

$$\sigma_L = \pm \frac{2\sigma}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Onde: σ_L é a incerteza das medições, σ é o desvio padrão das medições, n é o número de observações e o coeficiente 2 significa um nível de confiança de 95% (ver seção 6.3).

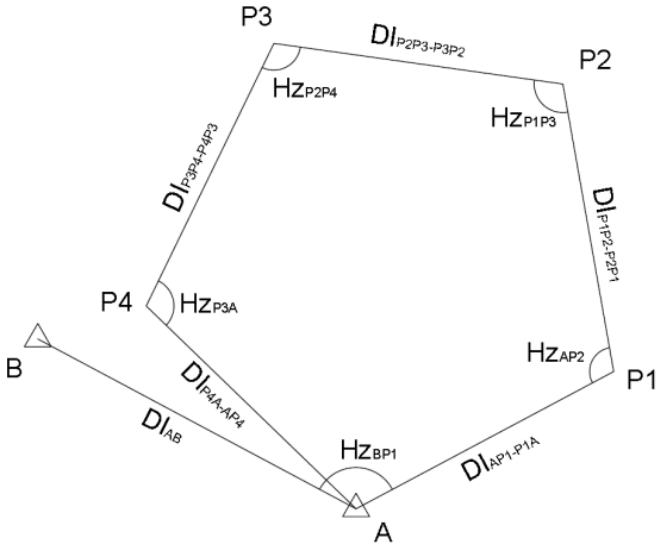
5.5 MÉTODO DA POLIGONAÇÃO 3D

Segundo Kahmen & Faig (1988), este método consiste em implantar no terreno uma poligonal, ou seja, uma sequência de linhas conectadas pelos vértices, onde as distâncias e ângulos entre as linhas são determinados por medições de campo.

A NBR 13133/1994 classifica as poligonais como do tipo 1 (apoiadas e fechadas em uma única direção e em um único ponto), tipo 2 (apoiadas e fechadas em diferentes direções e pontos com desenvolvimento curvo) e tipo 3 (apoiadas e fechadas em diferentes direções e pontos com desenvolvimento retilíneo). No caso das poligonais do Tipo 1, empregadas neste TCC, o procedimento de campo consiste em primeiramente instalar o instrumento em um ponto de origem e visar um alvo de coordenadas conhecidas (como uma RN ou um vértice de outra poligonal já implantada) para a amarração e georreferenciamento da poligonal. Feito isto, é visado para vante o segundo vértice da poligonal, e ao fim das leituras é instalado o instrumento no segundo alvo, visando para ré o vértice anterior e para vante o próximo vértice, repetindo esse procedimento por todos os vértices até se chegar ao vértice de origem como vante, fechando o caminhamento. Todas as leituras são realizadas utilizando-se o método das direções (leituras diretas e inversas conjugadas no instrumento), em 3 séries, fazendo-se a leitura dos ângulos horizontais (Hz), verticais/zenitais (V) e distâncias inclinadas (DI), além das medições das alturas do instrumento e do prisma.

Na Figura 6, tem-se um exemplo de poligonal onde A é o vértice de origem, B é um ponto de coordenadas conhecidas para amarração e os pontos P1, P2, P3 e P4 são os demais vértices da poligonal, onde o caminhamento é feito no sentido anti-horário.

Figura 6 - Esquema do método da poligonação na planimetria.



Fonte: o autor (2016).

Segundo Espartel (1978), para o cálculo das coordenadas dos pontos da poligonal, parte-se do azimute entre os pontos de referência A e B (AzAB), o qual é obtido a partir da equação (9):

$$\alpha = tg^{-1}\left(\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right) \tag{9}$$

Onde: X_A e Y_A são as coordenadas planimétricas de A e X_B e Y_B as coordenadas planimétricas de B. Fazendo-se a análise dos quadrantes, obtém-se o azimute AzAB pelas equações (10) a (13):

Se $X_B - X_A > 0$ e $Y_B - Y_A > 0$, então:

$$AzAB = 90 - \alpha \tag{10}$$

Se $X_B - X_A > 0$ e $Y_B - Y_A < 0$, então:

$$AzAB = 90 + \alpha \tag{11}$$

Se $X_B - X_A < 0$ e $Y_B - Y_A < 0$, então:

$$AzAB = 270 - \alpha \tag{12}$$

Se $X_B - X_A < 0$ e $Y_B - Y_A > 0$, então:

$$AzAB = 270 + \alpha \tag{13}$$

Para os casos em que a diferença em X seja zero, tem-se os azimutes 0° ($Y_B - Y_A > 0$) ou 180° ($Y_B - Y_A < 0$). Para quando a diferença em Y seja zero, tem-se os azimutes 90° ($X_B - X_A > 0$) ou 270° ($X_B - X_A < 0$).

O cálculo do azimute de uma estação i para a estação i+1 seguinte da poligonal é dado pela Equação (14):

$$Az_{i,i+1} = Az_{i-1,i} + Hz_i - 180° \quad (14)$$

Onde: $Az_{i,i+1}$ é o azimute da estação para o próximo vértice, $Az_{i-1,i}$ é o azimute do vértice anterior à estação e Hz_i é o ângulo horizontal medido na estação do vértice anterior ao próximo vértice.

Após a redução das distâncias inclinadas à horizontal pela Equação (15):

$$D_H = D_I * senZ \quad (15)$$

Onde: D_H é a distância horizontal, D_I é a distância inclinada e Z é o ângulo zenital, procede-se o cálculo das coordenadas parciais X_i e Y_i pelas equações (16) e (17):

$$X_i = X_{i-1} + D_H * sen(Az_{i-1,i}) \quad (16)$$

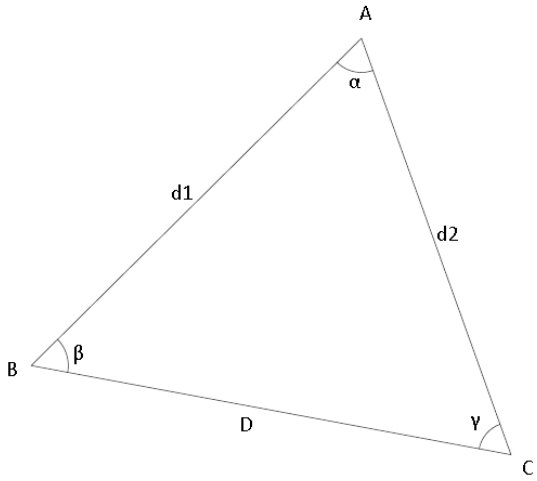
$$Y_i = Y_{i-1} + D_H * cos(Az_{i-1,i}) \quad (17)$$

As coordenadas finais dos pontos da poligonal são obtidas por ajustamento das coordenadas parciais (Seções 6.1 e 6.2).

5.6 MÉTODO DA INTERSEÇÃO A RÉ

Segundo Kahmen & Faig (1988), este método, também conhecido como recessão ou estação livre, consiste em obter as coordenadas de um ponto desconhecido a partir de dois pontos conhecidos. Seja A o ponto desconhecido e B e C os pontos conhecidos. Instala-se uma estação em A e faz-se visadas para os pontos B e C, medindo-se as direções horizontais, ângulos zenitais e distâncias inclinadas. α é o ângulo horizontal medido de B para C. β e γ são os ângulos internos com vértices em B e C. d1 e d2 são as distâncias medidas de A para B e A para C, respectivamente, e D é a distância entre B e C, calculada pela diferença de coordenadas ou pela lei dos cossenos (Figura 7).

Figura 7 - Esquema dos métodos da interseção a ré e a vante na planimetria.



Fonte: o autor (2016).

Seja AzBC o azimute de B para C, calculado pelas equações (6) a (10). O azimute AzCB, de C para B, é o contra-azimute de AzBC, obtido pela soma de AzBC com 180°, se AzBC<180°, ou pela diferença com 180°, se AzBC<180°.

A distância base D entre B e C pode ser obtida de duas formas. Uma é a diferença de coordenadas, na Equação (18):

$$D = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2} \tag{18}$$

Onde: X_C, Y_C e X_B, Y_B são as coordenadas planimétricas de C e B, respectivamente.

Outra forma de calcular a distância D é pela lei dos cossenos, na Equação (19):

$$D = \sqrt{{d_1}^2 + {d_2}^2 - 2 * d_1 * d_2 * cos\alpha} \tag{19}$$

Haverá uma pequena diferença entre os valores de D obtidos pela diferença de coordenadas e pela lei dos cossenos, uma vez que se estar comparando a mesma distância medida em levantamentos diferentes e até mesmo com metodologias diferentes. A razão entre D_{Coord}, obtida pela diferença de

coordenadas, e D_{LC}, obtida por lei dos cossenos, será o fator de escala q (Equação 20).

$$q = D_{Coord}/D_{LC} \tag{20}$$

O próximo passo é o cálculo dos ângulos internos β e γ, que são obtidos pela lei dos senos (Equação 21) e pelo fato de que a soma dos ângulos internos de um triângulo é 180° (Equação 22):

$$\beta = sen^{-1}\left(\frac{sen\alpha * d_2}{D_{LC}}\right) \tag{21}$$

$$\gamma = 180° - \alpha - \beta \tag{22}$$

Então, calcula-se os azimutes AzBA e AzCA, de B para A e de C para A, respectivamente. Deve ser realizada uma análise geométrica do problema para o cálculo destes azimutes, mas em geral se recai em formas como as das equações (23) e (24), mudando-se apenas os sinais:

$$AzBA = AzBC - \beta \tag{23}$$

$$AzCA = AzCB + \gamma \tag{24}$$

O próximo passo é o cálculo das coordenadas planimétricas do ponto desconhecido, pelas equações (25) e (26):

$$X = X_B + (q * d_1 * senAzBA) \tag{25}$$

$$Y = Y_B + (q * d_1 * cosAzBA) \tag{26}$$

As coordenadas também podem ser obtidas a partir do ponto C, substituindo-se as coordenadas X_A, Y_A por X_B, Y_B e o azimute AzBA por AzCA. Uma forma de controlar a confiabilidade das medições é calcular as coordenadas pelos dois pontos e depois comparar os resultados.

5.7 MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE

Este é o problema inverso da interseção a ré descrito na Seção 5.6, ou seja, aqui a estação é instalada nos pontos B e C conhecidos, e A é um ponto desconhecido inacessível. Segundo Kahmen & Faig (1988), instalando o instrumento em B, faz-se as leituras das visadas para A e C, obtendo-se pela diferença de direções o ângulo β e a distância d1. Com o instrumento em C e

fazendo visada para A e B, obtém-se da mesma forma o ângulo γ e a distância d2. Com o azimute AzBC calculado a partir da diferença de coordenadas pelas equações (9) a (13), os ângulos β e γ e as distâncias d1 e d2 medidos em campo e pelo nivelamento trigonométrico calculado através dos ângulos zenitais e distâncias inclinadas obtidas em campo, é possível obter as coordenadas aplicando-se diretamente as equações (23) a (26) da interseção a ré (seção 5.6).

Outra aplicação deste método é quando, por alguma razão, não é possível medir a distância horizontal d1 e d2 entre as estações e o alvo. De fato, uma das grandes vantagens da interseção a vante é que este método permite calcular as coordenadas de um ponto inacessível apenas com medições angulares a partir de uma base com dois pontos de coordenadas conhecidas (KAHMEN e FAIGG, 1988). O primeiro caso é quando tem-se a medida angular entre o ponto inacessível e o outro ponto da base, ou, na Figura 7, entre o ponto A e C, se com estação em B, e vice-versa, ou seja, quando tem-se β e γ.

Pode-se encontrar α subtraindo 180° de β e γ (soma dos ângulos de um triângulo, Equação 19). Então se usa a lei dos senos para encontrar d1 (Equação 27) e d2 (Equação 28):

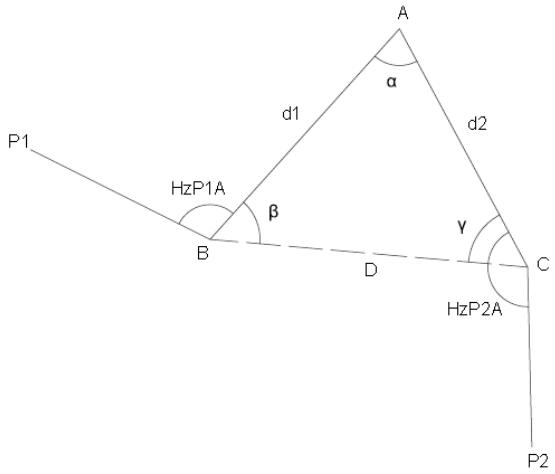
$$d_1 = \frac{(sen\gamma) * D}{sen\alpha} \tag{27}$$

$$d_2 = \frac{(sen\beta) * D}{sen\alpha} \tag{28}$$

Lembrando que D é obtido pela diferença de coordenadas (Equação 18) entre B e C. O próximo passo é aplicar as equações da interseção a ré (seção 5.6) para encontrar as coordenadas planimétricas de A.

O método da interseção a vante também permite encontrar coordenadas de um ponto inacessível quando não é possível medir o ângulo deste ponto para o outro ponto da base, mas é possível obter o ângulo de outros pontos de referência com coordenadas conhecidas para o ponto inacessível (KAHMEN & FAIGG, 1988). A Figura 8 ilustra este caso especial.

Figura 8 - Caso especial de interseção a vante



Fonte: o autor (2017).

Seja, na Figura 8, P1 e P2 pontos de coordenadas conhecidas. Os ângulos β e γ, assim como as distâncias d1 e d2, são desconhecidos. D pode ser obtido pela diferença de coordenadas (Equação 18) entre B e C. Da mesma forma, podemos obter os azimutes AzBP1 entre B e P1, AzBC e AzCB entre B e C, e AzCP2 entre C e P2. HzP1A é a medida do ângulo horizontal entre P1 e A com estação em B e HzP2A é a medida do ângulo horizontal entre P2 e A com estação em C.

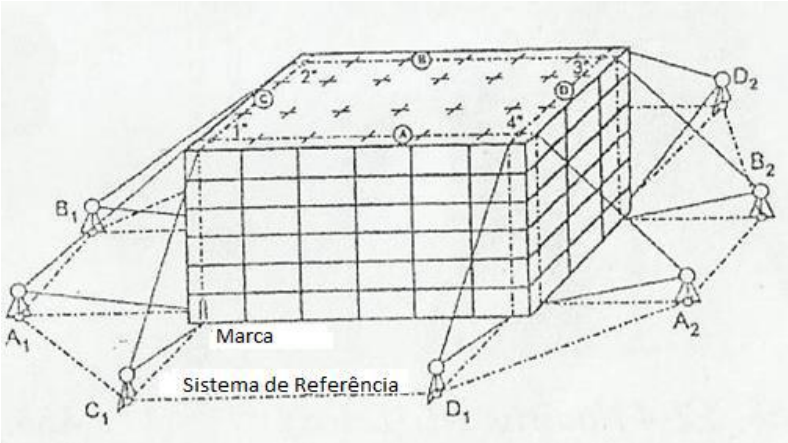
Fazendo a análise geométrica do problema, é possível encontrar β e γ com operações entre os azimutes e os ângulos horizontais. α pode ser encontrado usando a soma dos ângulos internos do triângulo (Equação 19) e então as coordenadas podem ser encontradas pelas equações 23 a 26 da interseção a ré (seção 5.6).

Uma situação particular da Interseção a Vante é utilizada no Método da Prumagem Plana, muito útil para controlar a verticalidade de estruturas como pilares e quinas de edifícios (ARAUJO & SEIXAS, 2014). Segundo Moeser et al. (2000) apud (ARAUJO, 2013)[1], nesta variante do método, tem-se uma uma quina entre duas fachadas perpendiculares de um edifício. Duas estações com coordenadas conhecidas são implantadas no prolongamento das fachadas, de forma que suas projeções até a quina fiquem perpendiculares entre si. Então, são medidos dois

[1] MOESER, M.; MUELLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H.,(Hrsg.). HandbuchIngenieurgeodaesie. Grundlagen. 3. Voellig neugerbeitet und erweiterte Auflage. Herbert Wichmann Verlag. Heidelberg, 2000.

pontos na quina, um próximo ao solo e outro próximo ao topo ou a laje que se quer controlar (Figura 9).

Figura 9 - Definição de poligonal de apoio para prumagem plana.



Fonte: MOESER et al. (2000).

As coordenadas planimétricas são calculadas da mesma forma que no caso onde se tem os ângulos β e γ, mas não se tem d1 e d2 (Figura 7 e equações 27-28). As coordenadas altimétricas são calculadas pelo Método do Nivelamento Trigonométrico (seção 5.10). O desvio angular δ da estrutura em relação a vertical pode ser calculada pela Equação (29) (STEINBRUCH;WINTERLE, 1987):

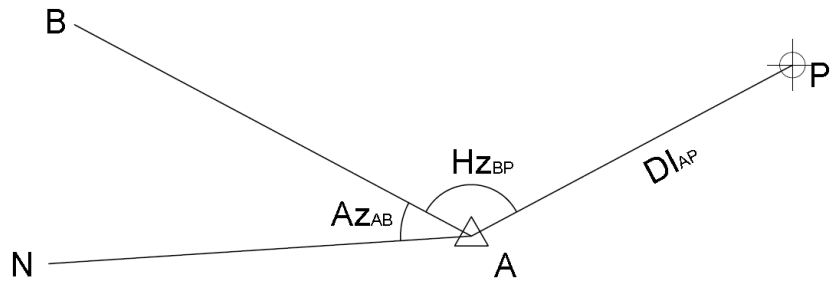
$$\delta = cos^{-1}\left(\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}}\right) \quad (29)$$

Onde: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ é a diferença de coordenadas entre os pontos acima e abaixo medidos na estrutura.

5.8 MÉTODO POLAR (IRRADIAÇÃO 3D)

Segundo Silva & Segantine (2015), este método consiste em obter as coordenadas de um ponto desconhecido ocupando um ponto de coordenadas conhecidas e tendo uma direção de referência com azimute conhecido. Assim, mede-se o ângulo horizontal entre a direção de referência e o alvo e o ângulo zenital com distância inclinada para o alvo, obtendo-se então as coordenadas tridimensionais do alvo. Na Figura 10, a estação ocupa um ponto conhecido A e faz visada para um alvo P, cujas coordenadas se pretende obter, a partir de uma direção de referência AB, cujo azimute AzAB é conhecido.

Figura 10 - Esquema da irradiação na planimetria



Fonte: o autor (2016).

Somando-se o ângulo horizontal medido com o azimute da direção de referência, obtemos o azimute AzAP entre A e P. O cálculo das coordenadas é realizado pelo simples transporte de coordenadas das equações (30) e (31):

$$X = X_A + D_H sen AzAP \quad (30)$$

$$Y = Y_A + D_H cos AzAP \quad (31)$$

Onde X_A e Y_A são as coordenadas da estação em A e D_H é a distância horizontal a partir de DI_{AP}.

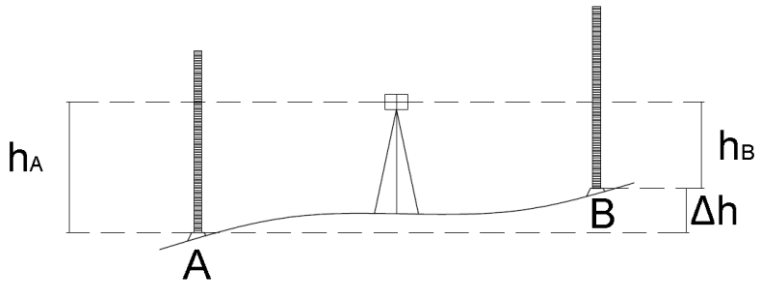
5.9 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Segundo Kahmen & Faig (1988), Este método consiste em obter o desnível entre dois pontos no terreno a partir da diferença de leituras de cotas nestes pontos, obtidas através de visadas horizontais a partir de um instrumento denominado nível. Seja os pontos A e B cujo desnível se pretende medir. O instrumento é estacionado em algum ponto entre A e B, e miras graduadas são posicionadas sobre sapatas nestes pontos. O observador então faz a leitura da cota de A (h_A) e depois da cota de B(h_B), e então subtrai as leituras, obtendo o desnível $\Delta h = h_A - h_B$ entre A e B (Figura 11).

De acordo com Espartel (1978), o nivelamento geométrico é o mais preciso de todos os métodos de nivelamento de campo existentes. Neste trabalho, empregou-se o método das visadas iguais. Neste método o instrumento é estacionado em um ponto tal que a distância dele para A é aproximadamente igual a distância dele para B.

Para um nivelamento geométrico confiável, é importante realizar o nivelamento e o contranivelamento (nivelamento no sentido contrário).

Figura 11 - Método do nivelamento geométrico com nível visando distâncias iguais para os alvos A e B.



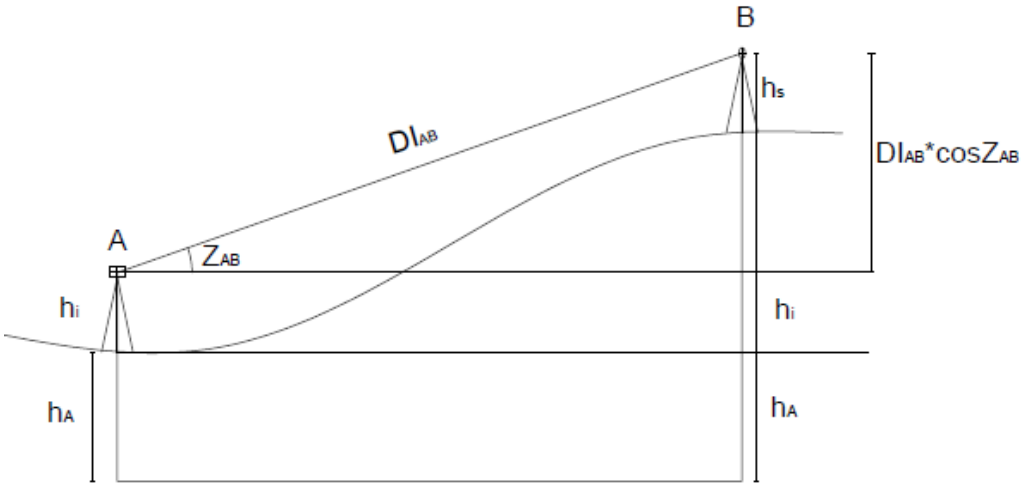
Fonte: o autor (2016).

5.10 NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

Segundo Silva & Segantine (2015), neste método, obtém-se a coordenada altimétrica (h) de um ponto desconhecido a partir de medições de ângulos zenitais e distâncias realizadas de uma estação em um ponto de coordenada Z conhecida. Com a estação estacionada em um ponto A, mede-se o ângulo zenital Z_{AB} e a distância inclinada DI_{AB} até B. A altura de B é calculada pela Equação (32), onde hA que é a altitude em A, hi que é a altura do instrumento em A e hs que é a altura do sinal-alvo em B (Figura 12).

$$h_B = DI_{AB} * cosZ_{AB} - h_S + h_I + h_A \quad (32)$$

Figura 12 - Método do nivelamento trigonométrico com estação total em A e alvo em B.



Fonte: o autor (2016).

6 AJUSTAMENTO E CONTROLE DE ERROS

6.1 AJUSTAMENTO TRADICIONAL DE POLIGONAIS FECHADAS

Segundo Espartel (1978), este método para ajustamento das observações consiste em distribuir os erros angulares e lineares de uma poligonal fechada (seção 5.5) igualmente ou de forma ponderada, tendo o tamanho dos lados como peso.

Para ajustar uma poligonal, antes de se calcular os azimutes nas estações (Equações 6-11), calcula-se o erro de fechamento angular da poligonal:

$$e_A = \sum Hz - (n+2) * 180° \quad (33)$$

Onde: $\sum Hz$ é o somatório dos ângulos horizontais medidos e n é o número de vértices da poligonal.

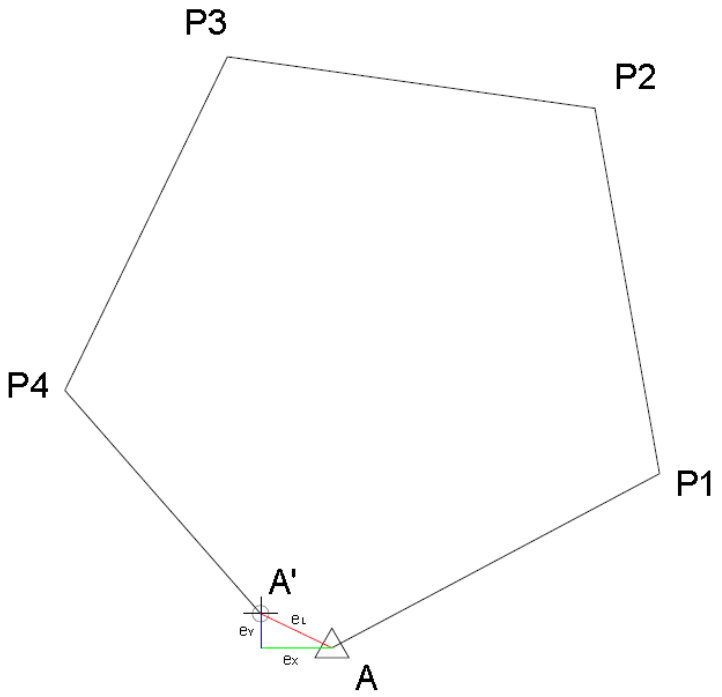
A tolerância angular ε_A, entendido como o máximo valor que e_A pode assumir, é calculado pela Equação (34) (ESPARTEL, 1978):

$$\varepsilon_A = p\sqrt{n} \quad (34)$$

Onde: p é a precisão nominal do instrumento e n é o número de vértices da poligonal. Caso $e_A > \varepsilon_A$, as medições devem ser rejeitadas e refeitas. ε_A é então distribuído nos ângulos formados pelos menores lados da poligonal, ou proporcionalmente para cada estação em relação aos lados da poligonal, e então adicionado ao cálculo dos azimutes da poligonal pela Equação 11.

Uma vez calculadas as coordenadas parciais da poligonal (equações 13 e 14), calcula-se o erro de fechamento linear e_L, que é a diferença entre as coordenadas conhecidas do ponto de origem e as encontradas para este ponto de origem após o fechamento da poligonal, a partir da última estação ocupada (Figura 13).

Figura 13 - Erro de fechamento linear. A é a estação origem e A’ corresponde as coordenadas medidas para a estação de origem a partir de P4.



Fonte: o autor (2017).

As componentes e_X e e_Y de e_L são encontradas subtraindo-se as coordenadas de A das coordenadas de A’. O erro de fechamento linear e_L é calculado pela diferença de coordenadas (ESPARTEL, 1978):

$$e_L = \sqrt{{e_X}^2 + {e_Y}^2} \tag{35}$$

A verificação do erro linear é dada pela expressão (36):

$$\frac{e_L}{\sum D} \leq p \tag{36}$$

Onde: $\sum D$ é o perímetro da poligonal (soma de todas as distâncias) e p é a precisão linear nominal do instrumento, em forma de escala. Se o erro linear satisfizer a expressão (36), são calculados os fatores de correção C para as coordenadas de cada vértice da poligonal:

$$Cx_i = -e_X * \left(\frac{D_{i-1,i}}{\sum D}\right) \tag{37}$$

$$Cy_i = -e_Y * \left(\frac{D_{i-1,i}}{\sum D}\right) \quad (38)$$

Então, pode-se calcular as coordenadas ajustadas dos vértices da poligonal adicionando os fatores de correção às equações (16) e (17) da Seção 5.5 (ESPARTEL, 1978):

$$X_i = X_{i-1} + D_H * sen\left(Az_{i-1,i}\right) + Cx_i \quad (39)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + D_H * cos\left(Az_{i-1,i}\right) + Cy_i \quad (40)$$

6.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Seja o conjunto de valores X = $\{x_1,...,x_i\}$ a ser determinado e um conjunto de observações L = $\{l_1,...,l_i\}$ relacionados aos valores de X. Seja V = X – L = $\{v_1,...,v_i\}$ o conjunto de resíduos destas observações. Segundo Gemael (1994), o método dos mínimos quadrados consiste em encontrar um conjunto X, tal que a soma dos quadrados dos resíduos v_i multiplicado por uma matriz P dos pesos atribuídos ao conjunto de observações seja mínimo.

Trabalhando matricialmente e considerando V a matriz coluna $[v_1,...,v_i]$ dos resíduos, pode-se escrever a definição anterior como:

$$V^T PV = min \quad (41)$$

onde P é uma matriz de pesos diagonal. Seja A uma matriz qualquer de coeficientes que multiplica a matriz-coluna das incógnitas X (nosso conjunto de valores a determinar), e L_b a matriz-coluna das observações. Queremos resolver um sistema tal que:

$$APX = L_b \quad (42)$$

sabendo que os os valores X em que estamos interessados são os resíduos mais as observações (X = V + L), reescrevemos a equação (42) introduzindo os resíduos:

$$APX = L_b + V \quad (43)$$

substituindo V por APX – L_b, na equação 41, teremos:

$$\phi = (APX - L_b)^T (APX - L_b) = min \quad (44)$$

$$\frac{d\phi}{dX} = 2A^T PAX - A^T PL_b - A^T PL_B = 0 \quad (45)$$

$$(A^T PA)X - (A^T PL_B) = 0 \quad (46)$$

resolvendo para X, temos a forma geral do método dos mínimos quadrados:

$$X = (A^T PA)^{-1}(A^T PL_B) \quad (47)$$

de forma a encontrar valores de X cujos resíduos satisfaçam a equação (41).

6.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE ERROS

Devido a presença de erros aleatórios, o valor $x1, x2, \ldots, xi$ das observações medidas de uma grandeza sempre oscilará para mais ou para menos do valor real da grandeza observada. As medidas, porém, sempre se aproximarão de um valor que é dado pelo valor real somado às constantes de erros sistemáticos, o qual denomina-se valor mais provável da grandeza. O valor provável $\bar{x}$ será dado pela média aritmética dos valores $x1, x2, \ldots, xi$ das observações:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (48)$$

Onde n é o número de observações. A média aritmética é uma medida de posição, assim como a mediana e a moda.

As medidas de dispersão compreendem a variância da população, a variância amostral, o desvio padrão da população (ou desvio médio quadrático), o desvio padrão amostral (ou desvio padrão experimental) e o desvio padrão da média. Para o cálculo das medidas de dispersão utiliza-se os resíduos, que são as diferenças elevadas ao quadrado entre cada valor medido e a média das medidas realizadas.

A variância σ^2 da população é dada pelo somatório dos resíduos dividido pelo número de observações:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (49)$$

A variância amostral s^2 é dada pelo somatório dos resíduos divido pelo número de observações menos 1:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{50}$$

O desvio médio quadrático s é a raíz da variância da população, enquanto o desvio padrão experimental σ é a raíz da variância amostral. O desvio padrão experimental é o melhor indicador de dispersão para a análise de medições, pois ela indica a probabilidade de erro que se teria em uma medição única da grandeza, e está diretamente ligada a distribuição normal através do desvio padrão da média. Neste TCC, quando for citado o desvio padrão, entende-se o desvio padrão experimental σ.

O desvio padrão da média $\bar{\sigma}$ permite prever o erro sobre o valor mais provável que se teria em um número n de medições, sem precisar repetir estas medições. O valor de $\bar{\sigma}$ é dado por:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{51}$$

Pode-se perceber que quanto maior o número de observações n, menor é o valor de $\bar{\sigma}$ e portanto mais preciso é o nosso resultado. Quanto maior forem as observações, mais o histograma dos resultados se aproxima de uma curva denominada distribuição normal de Gauss. Para qualquer distribuição normal, a média é o valor de maior frequência (ponto de virada da curva), e os valores dentro de um intervalo σ a esquerda e a direita da média correspondem a aproximadamente 68% do total de medidas realizadas. Valores dentro de um intervalo 2σ da média no histograma corresponderão a aproximadamente 95% das medidas, valores no intervalo 3σ corresponderão a aproximadamente 99,73%, e assim por diante. A este intervalo denomina-se intervalo de confiança, geralmente referenciado pelo percentil de elementos da amostra dentro do intervalo (DE OLIVEIRA, 2008).

A incerteza de uma medição é dada pelo seu valor mais provável mais ou menos o desvio padrão da média referente ao intervalo de confiança arbitrado para a medida ($\sigma, 2\sigma, 3\sigma$ ou mais). O resultado de uma medição com sua incerteza é escrito como $\bar{x} \pm \bar{\sigma}$ (DE OLIVEIRA, 2008).

7 METODOLOGIA, RESULTADOS E ANÁLISES

7.1 ÁREA DE ESTUDO

Para este TCC foi escolhido como área de estudo o edifício do NIATE CTG/CCEN, localizado no Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (Figura 14).

Figura 14 - Localização do NIATE CTG/CCEN em vermelho.

Fonte: Google Earth (2017).

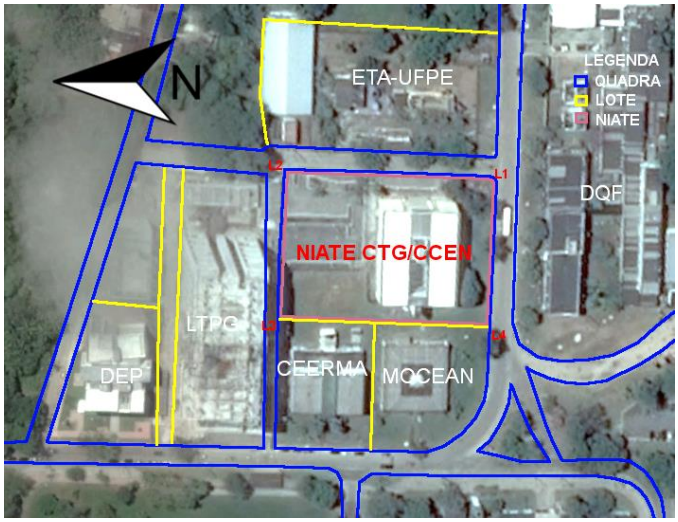
Neste TCC foi levantada uma hipótese de que a quadra onde o imóvel objeto de estudo se situa foi desmembrada e suas benfeitorias constituintes, tais como edifício, estacionamento e vias de pedestres para acesso, fazem parte de lote a ser levantado durante a execução do as built, com as coordenadas arbitradas na Tabela 1. Os edifícios vizinhos (Museu de Oceanografia – MOCEAN, Centro de Estudos e Ensaios em Risco e Modelagem Ambiental – CEERMA, Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG, Estação de Tratamento de água – ETA e Departamento de Química Fundamental – DQF) ocupam cada um seu respectivo lote (Figura 15).

Esta hipótese foi levantada devido a ausência de informação cadastral na UFPE, segundo pesquisa realizada junto a Prefeitura da Cidade Universitária (PCU) desta instituição, no qual foi informado que o loteamento existente antes da cessão do terreno para a construção da Universidade foi totalmente unificado em uma única gleba, de forma que todo o Campus da Universidade pertence juridicamente a uma

única parcela, o que impossibilita trabalhar com informação cadastral real na área do objeto de estudo.

Apesar da ausência de um cadastro propriamente dito das instalações do campus da UFPE, foi implantado em suas dependências uma rede de pontos geodésicos no padrão da Rede INCRA de Bases Comunitárias/Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RIBaC/RBMC), durante o projeto financiado pelo CNPq "Determinação de Limites de Imóveis para Fins Legais" coordenado pela Profa. Andrea Carneiro da UFPE (MENDONÇA et al., 2010). Esta rede conta com 7 marcos geodésicos de precisão de até 2 mm, nomeados EPS-01, EPS-02, EPS-03, EPS-04, EPS-05, EPS-06 e EPS-07, estando referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (VILA FLOR,2010).

Figura 15 - Divisão hipotética das parcelas na área de estudo.



Fonte: Google Earth (2017).

Tabela 1 - Coordenadas X e Y do lote compreendido pelo perímetro do imóvel, georreferenciadas ao Sistema Topocêntrico Local do Campus Recife da UFPE (SIRGAS2000).

VÉRTICES	X (m)	Y (m)
L1	149887,4667	249543,5405
L2	149896,9264	249632,9590
L3	149839,8407	249639,3876
L4	149834,5428	249582,3191

Fonte: o autor (2017)

7.2 MATERIAIS

7.2.1 Materiais para a realização dos experimentos de campo

- 2 (duas) Estações totais Topcon GPT-3200N (precisão angular 5” e precisão linear 0,5 mm + 5ppm) e 2 estações totais North NXR (precisão angular 5” e precisão linear 0,5 mm + 5ppm);
- 2 (dois) bastões;
- 2 (dois) prismas para a estação total Topcon e 2 (dois) prismas para a estação total North;
- 2 (dois) adaptadores bastão-prisma;
- 2 (dois) adaptadores base-prisma;
- 2 (duas) bases nivelantes extras modelo Topcon GPT-3200N e North NXR;
- 03 (três) tripés;
- 1 (uma) marreta;
- Pinos e hastes metálicas para materialização de vértices topográficos;
- 1 Triângulo de madeira para fixação da estação total em superfícies lisas;
- 1 (uma) prancheta e folhas de caderneta de campo;
- 1 (uma) trena milimetrada;
- 1 (um) nível óptico modelo Topcon AT-B4 (precisão 2mm/km duplo nivelado);
- 1 (uma) mira de alumínio graduada em centímetro e de encaixe para nivelamento geométrico;
- 2 sapatas.

7.2.2 Materiais para a realização dos procedimentos de escritório

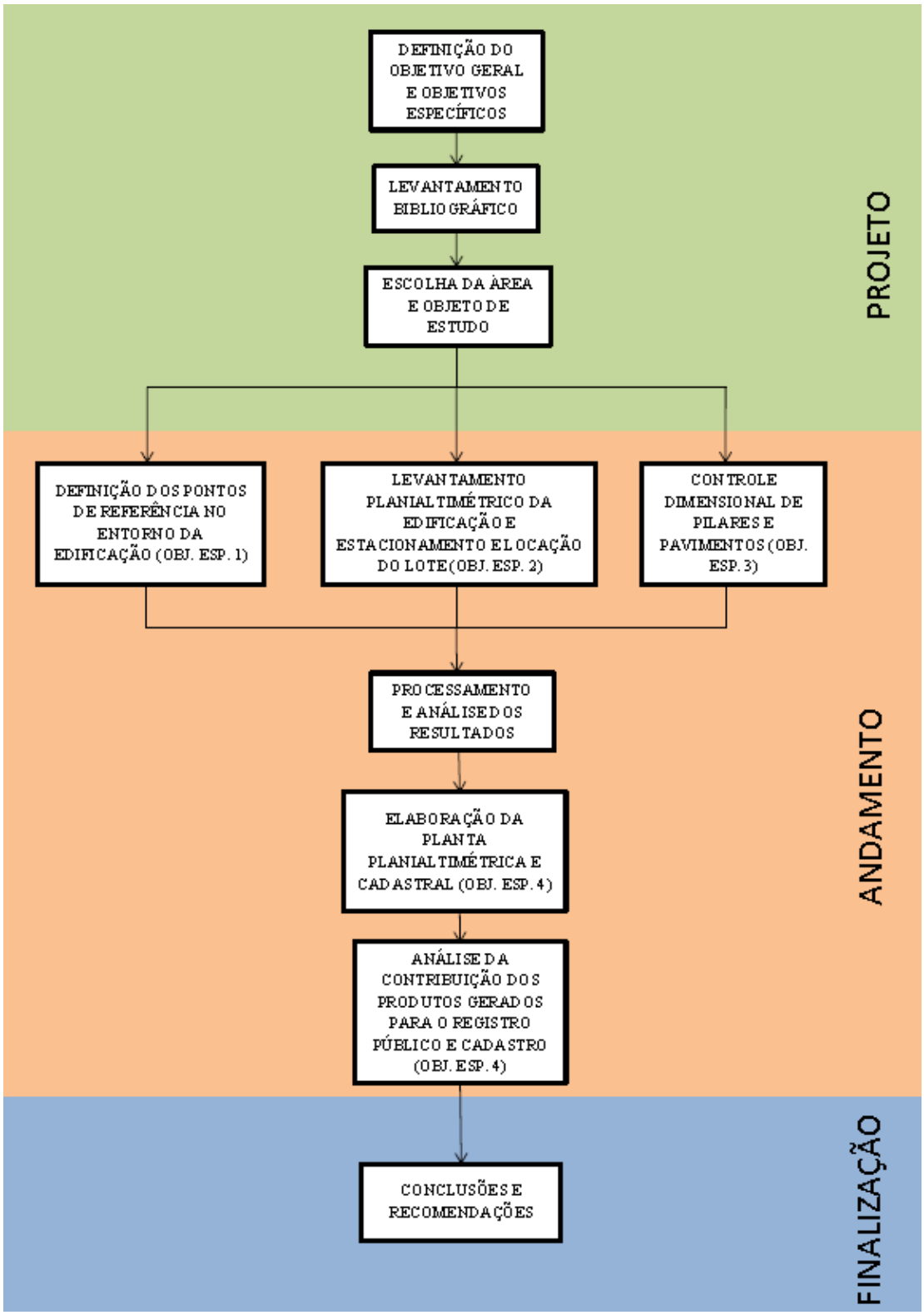
- Computador com os seguintes *softwares*:
    - AstGeoTop, v.2017 (GARNÉS, 2014);
    - Mathworks Matlab R2013a;
    - Autodesk Autocad v.2014;
    - Microsoft Excel v. 2010;
    - Google Earth Pro.

- Normas (ABNT)
    - NBR 13133/1994;
    - NBR 14166/1998;
    - NBR 14645-1/2001;
    - NBR 14645-2/2005;
    - NBR 14645-3/2005.
- Plantas de arquitetura do edifício NIATE CTG/CCEN (PCU-UFPE)

7.3 MÉTODOS

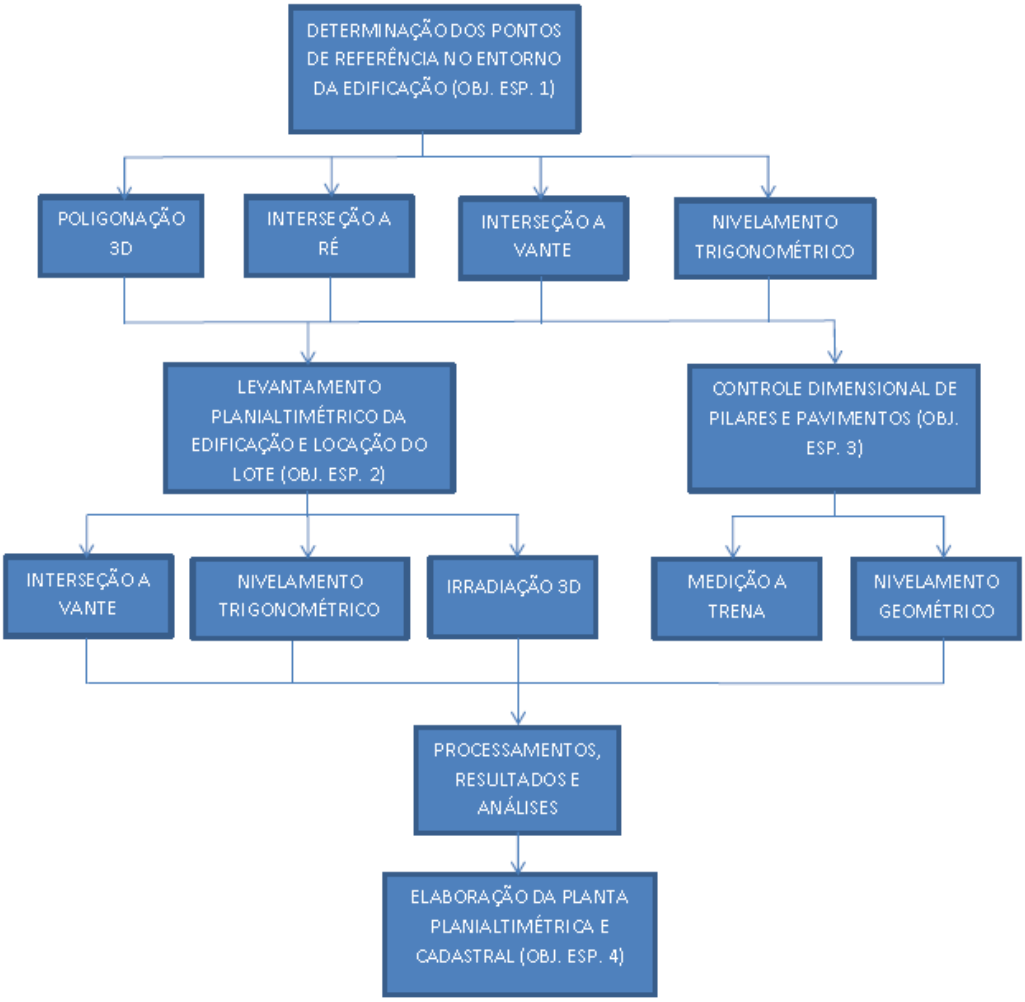
A Figura 16 apresenta o Fluxograma 1 de trabalho planejado para a elaboração deste TCC. A Figura 17 apresenta o Fluxograma 2 das etapas de aquisição de dados, processamento e geração de produtos executados com as metodologias empregadas. Além dos levantamentos de campo realizados, foram também utilizados dados de levantamentos anteriores realizados em pesquisas de iniciação científica e de mestrado durante os anos de 2015, 2016 e 2017, além de disciplinas da área.

Figura 16 - Fluxograma 1 de planejamento das atividades do TCC.



Fonte: o autor (2017)

Figura 17 - Fluxograma 2 de execução com o detalhamento das metodologias empregadas nas fases de aquisição, processamentos e análises, e geração de produtos.



Fonte: o autor (2017)

7.4 IMPLANTAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE REFERÊNCIA NO ENTORNO DA EDIFICAÇÃO

7.4.1 Método da poligonação

A etapa de definição dos pontos de referência no entorno da área de estudo (objetivo específico 1) aproveitou os pontos de apoio topográfico implantados durante a iniciação científica: “Transporte de altura na direção da linha de prumo e os métodos de prumagem” (XAVIER & SEIXAS, 2016) e “Verificação metrológica da qualidade de uma estação total: implantação de pontos de apoio e estudos de comandos embutidos” (SILVA &; SEIXAS,2017b), uma vez que estes pontos já

contemplam a poligonal e os pontos no entorno do edifício do NIATE CTG/CCEN ilustrados na Figura 18.

Figura 18 – Rede de pontos de referência no entorno do edifício NIATE. Os pontos azuis (P) foram obtidos por poligonação, com a poligonal em azul. Os pontos em verde foram obtidos por resseção, com as visadas par os pontos de origem em verde.

Fonte: Google Earth (2017).

As coordenadas planimétricas dos pontos de apoio topográfico E3, CERMA e E9 foram obtidos por poligonação a partir do vértice NIATE, em três levantamentos realizados em (XAVIER & SEIXAS, 2016). Todas as poligonais foram georreferenciadas a uma poligonal existente no entorno do edifício, implantadas durante a disciplina CA450 - Levantamento e Locação de Obras (2015.2) do curso de Engenharia Cartográfica, com origem no vértice EPS04 e azimute inicial visado de EPS04 para EPS07, ambos os vértices da Rede de Referência Cadastral da UFPE. Esta poligonal é composta por 10 vértices (EPS04, LTPG3, LTPG2, LTPG1, NIATE, MOCEAN, OCEAN, EPS06, LATOP1 e EPS07) ilustrados na Figura 19, com erro de fechamento angular de 10”, erro linear de 0,0217 m em X e 0,0467 em Y e 0,0515 m e precisão relativa de 1/24165,19. As coordenadas da poligonal de referência, calculadas no módulo planialtimétrico do software AstGeoTop (GARNÉS, 2014) estão descritas na Tabela 2.

Figura 19 - Poligonal de referência implantada no entorno do edifício NIATE CCEN/CTG.

Fonte: Google Earth (2015).

Tabela 2 - Coordenadas X e Y SIRGAS2000 da poligonal de referência no entorno do NIATE CTG/CCEN, georreferenciada ao Sistema Topocêntrico Local do Campus Recife da UFPE.

VÉRTICES	X	Y
EPS04	149811,2152	249927,1358
LTPG3	149790,5076	249745,9583
LTPG2	149908,0026	249704,4426
LTPG1	149904,6095	249642,1789
NIATE	**149887,4667**	**249543,5405**
MOCEAN	**149799,1944**	**249551,4507**
OCEAN	149732,9973	249490,3548
EPS06	149669,7655	249453,3322
LATOP1	149698,1582	249588,6189
EPS07	149718,3705	249854,2882

Fonte: AstGeoTop (2014).

7.4.1.1 Levantamento 1

O Levantamento 1, realizado em dezembro de 2015, foi a primeira tentativa de levantar uma poligonal de apoio no entorno do edifício NIATE. Esta poligonal contava com nove vértices, oito nos alinhamentos das fachadas e o vértice de referência NIATE (Figura 20), e tinha como azimute inicial o ponto MOCEAN. O objetivo era levantar pontos para a realização de um interseção a vante pelo método da prumagem plana (quando os pontos conhecidos são dispostos perpendicularmente nos prolongamentos das fachadas de um edifício, para o controle da verticalidade da construção).

Neste levantamento, foram lidas duas séries de pares conjugados. Foi utilizada uma estação total Topcon GPT-3200N, com os alvos materializados por bastão e prisma fixados em tripé. Os pontos foram materializados com o auxílio de piquetes de madeira e hastes metálicas. As direções horizontais foram determinadas visualizando a ponta do bastão apoiado no vértice topográfico.

Esta poligonal apresentou um erro de fechamento angular de 3’21,5”, erro em X de 0,2610 m, erro em Y de 0,0793 m, erro em altura (H) de 0,0465 m e erro linear horizontal total de 0,2730, com precisão relativa de 1/847,44, sendo então descartada.

7.4.1.2 Levantamento 2

Após a poligonal do Levantamento 1 não ter atingido uma precisão satisfatória, foi realizado um novo levantamento com centragem forçada (quando o prisma que materializa o alvo é fixado em um marco ou tripé com o auxílio de um adaptador base-prisma) em janeiro de 2016. Foi utilizado para este levantamento uma estação total North NXR.

Esta poligonal alcançou uma precisão relativa de 1/4030,79, com erro de fechamento angular de 2’30”, erro em X de 0,0333 m, erro em Y de 0,0467 m e erro em H de 0,0010, com erro linear horizontal total de 0,0574, mostrando-se melhor que a poligonal do levantamento 1, mas ainda insatisfatória para o objetivo pretendido.

Figura 20 - Poligonais dos levantamentos 1 e 2 no entorno do NIATE.

Fonte: Google Earth (2017).

7.4.1.3 Levantamento 3

Este levantamento foi realizado em julho de 2016, que forneceu resultados satisfatórios. Após uma análise dos resultados dos levantamentos anteriores, foi decidido levantar uma nova poligonal, com menos vértices e lados maiores, minimizando os erros angulares decorrentes de medições em distâncias curtas. Foram levantados por poligonação os pontos E3, CERMA, MOCEAN2 e E9 (Figura 21), utilizando um instrumento Topcon GPT-3200N e centragem forçada.

Figura 21 - Poligonal definitiva no entorno do NIATE, resultante do levantamento 3.

Fonte: Google Earth (2016).

Esta poligonal teve uma precisão relativa de 1/13801,63, com erro de fechamento angular de 23”, erro em X de 0,0160 m, erro em Y de 0,0017 e erro em H de 0,0035 m, com erro linear horizontal total de 0,0161 m, se enquadrando na Classe IIP da NBR 13.133/1994, com nível de confiança 95%. Usando ajustamento com MMQ, modelo paramétrico, obteve-se precisão IIIP, com variância a posteriori de 0,563, percentil inferior da distribuição Qui-quadrado de 0,22 e percentil superior da distribuição Qui-quadrado de 9,35, passando no teste de significância a 5%. As Tabelas 3 e 4 fornecem as coordenadas dos pontos obtidas com o levantamento, calculadas com o emprego do módulo planialtimétrico do software AstGeoTop (GARNÉS, 2014). A altimetria dos pontos é relativa ao vértice NIATE, já que na época a poligonal de referência ainda não contava com dados de altimetria recalculados ao Datum Vertical Brasileiro.

Por ter atingido os resultados satisfatórios, esta poligonal foi georreferenciada ao Sistema Topocêntrico Local da Rede de Referência Cadastral da UFPE, sendo a

poligonal definitiva utilizada para apoio aos trabalhos de campo na área do NIATE CTG/CCEN, incluindo este TCC. Quando for referido “poligonal de apoio” neste texto, entende-se esta poligonal do levantamento 3.

Tabela 3 - Coordenadas da poligonal 3 no entorno do NIATE CTG/CCEN, com georreferenciamento no Sistema Topocêntrico Local SIRGAS2000, sem ajustamento e com ajustamento na NBR 13.133/1994 (coordenadas em metros).

VÉRTICES	X(sem aj.)	X(ajustada)	Y(sem aj.)	Y(ajustada)	H(sem. aj)	H(aajustada)
NIATE	149887,4667	149887,4667	249543,5405	249543,5405	0,0000	0,0000
E3	149892,5101	149892,5103	249592,4602	249592,4610	0,1000	0,0993
CERMA	149854,9778	149854,9771	249609,8138	249609,8186	0,4550	0,4538
MOCEAN2	149820,4161	149820,4102	249583,4205	249583,4298	0,7490	0,7472
E9	149838,7727	149838,7603	249549,1445	249549,1523	0,2250	0,2227

Fonte: AstGeoTop (2014).

Tabela 4 - Coordenadas da poligonal 3 implantada e ajustadas por MMQ – modelo paramétrico (STL SIRGAS2000).

VÉRTICES	X(m)	σX(m)	Y(m)	σY(m)	ERRO POSICIONAL (m)
NIATE	149887,4667	0,0000	249543,5405	0,0000	0,0000
E3	149892,5103	0,0011	249592,4612	0,0056	0,0057
CERMA	149854,9743	0,0058	249609,8177	0,0058	0,0082
MOCEAN2	149820,4092	0,0059	249583,4247	0,0056	0,0082
E9	149838,7617	0,0060	249549,1502	0,0020	0,0063

Fonte: AstGeoTop (2014).

7.4.2 Método da interseção a ré

O ponto E4 (Figura 22) foi obtido pelo método da interseção a ré (ou resseção espacial) em (XAVIER & SEIXAS, 2016). O ponto E4 foi obtido a partir dos vértices E3 e CERMA da poligonal de apoio, com discrepâncias de 0,003 m em X e 0,006 m em Y. A altura relativa média ao vértice NIATE, calculada a partir dos vértices E3 e CERMA apresentou uma discrepância de 0,005 m. As coordenadas de E4, calculadas pelo software Matlab e controladas no software Adjust (WOLF & GHILANI, 1996), encontram-se na Tabela 5. O Algoritmo em Matlab está no Apêndice E.

Tabela 5 - Coordenadas do vértice E4 determinadas a partir dos vértices E3 e CERMA (STL SIRGAS2000).

VÉRTICES	X (m)	Y (m)	H RELATIVA-NIATE (m)
E4	149886,0206	249609,2875	0,148

Fonte: o autor (2016)

Figura 22 - Determinação ponto de apoio E4.

Fonte: o autor (2016)

Os pontos E6, E7, E10 e E11 (Figura 23) foram obtidos pela resseção espacial durante este TCC. O ponto E6 foi referenciado a E4 e CERMA, o ponto E7 foi referenciado a CERMA e E6, o ponto E10 foi referenciado a E9 e NIATE e o ponto E11 foi referenciado a NIATE e E3. As coordenadas altimétricas foram georreferenciadas a rede altimétrica obtida por nivelamento geométrico em (SILVA & SEIXAS, 2017a) e (SILVA & SEIXAS, 2017b) A Tabela 6 mostra as coordenadas calculadas no *software* Matlab dos pontos encontrados com suas respectivas discrepâncias. Os algoritmos desenvolvidos no Matlab estão apresentados no Apêndice E.

Tabela 6 - Coordenadas dos pontos E6, E7, E10 e E11 com seus respectivos desvios-padrão (STL SIRGAS2000).

VÉRTICES	X (m)	σX (m)	Y (m)	σY (m)	H (m)	σ H (m)
E6 (E4/CERMA)	149844,0094	0,0000	249601,4249	0,0010	8,7159	0,0004
E7 (CERMA/E6)	149837,2998	0,0000	249598,2254	0,0000	8,8751	0,0281
E10 (E9/NIATE)	149878,6645	0,0000	249544,1932	0,0002	8,4270	0,0045
E11 (NIATE/E3)	149897,7888	0,0041	249560,6522	0,0004	8,3256	0,0005

Fonte: o autor (2017)

Figura 23 - Pontos de apoio obtidos por resseção espacial em verde, com as visadas para seus respectivos pontos de referência.

Fonte: Google Earth (2017).

Para a realização do levantamento de detalhes no lado oeste e pontos de topo do edifício, foi necessário implantar três pontos virtuais na área denominados de PV1, PV2 e PV3 (Figura 24). Um ponto virtual é uma estação que por algum motivo qualquer não pode ter seu ponto materializado no terreno, de forma que só é utilizado para realizar medições no momento do levantamento de campo. Neste TCC os pontos virtuais foram implantados por interseção a ré a partir de pontos materializados conhecidos e então usados para realizar medições em que os pontos de interesse são acessíveis e/ou inacessíveis (pontos do topo de edificação) aos pontos de apoio materializados.

O ponto virtual PV1 foi obtido de NIATE e E9, e PV2 e PV3 foram obtidos de E6 e E9. A altitude dos pontos virtuais está referenciada ao Datum Vertical Brasileiro pela altitude do vértice NIATE da poligonal de apoio do Levantamento 3, obtida em (SILVA & SEIXAS, 2017). As coordenadas dos pontos virtuais, calculadas no *software* Matlab, encontram-se na Tabela 7. O algoritmo desenvolvido em Matlab para encontrar estes pontos virtuais está no Apêndice E.

Figura 24 - Posição dos pontos virtuais PV1, PV2 e PV3 e relação com seus respectivos pontos de referência.

Fonte: Google Earth (2017).

Tabela 7 - Coordenadas dos pontos virtuais PV1, PV2 e PV3 com seus respectivos desvios-padrão (STL SIRGAS2000).

VÉRTICES	X (m)	σX (m)	Y (m)	σY (m)	H (m)	σH (m)
PV1 (NIATE/E9)	149824,1200	0,0002	249564,4416	0,0015	8,6658	0,0056
PV2 (E6/E9)	149827,3648	0,0165	249589,4679	0,0017	8,7178	0,0071
PV3 (E6/E9)	149828,3763	0,0000	249604,7731	0,0000	8,7777	0,0082

Fonte: o autor (2017)

7.4.3 Método da interseção a vante

O ponto E8 foi obtido durante em (XAVIER & SEIXAS, 2016) pelo método da interseção a vante a partir dos vértices MOCEAN2 e E9 da poligonal de apoio do Levantamento 3. Este ponto, assim como o MOCEAN2, foi destruído durante as

obras de expansão do Museu de Oceanografia entre 2016 e 2017. Suas coordenadas, porém, figuram neste TCC por ele ter sido um dos pontos de ponto de apoio ao qual foi referenciado o pilar sudoeste do edifício durante iniciação científica na qual ele foi implantado. As coordenadas deste ponto, com altimetria corrigida para o Datum Vertical Brasileiro, calculadas no módulo Interseção Direta do software AstGeoTop (GARNÉS, 2012), encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Coordenadas do ponto E8 com seus respectivos desvios-padrão (STL SIRGAS2000).

VÉRTICE	X (m)	σX(m)	Y (m)	σY(m)	H (m)	σH(m)
E8	149821,2204	0,0007	249568,6120	0,0012	8,7596	0,0014

Fonte: AstGeoTop (2012).

7.4.4 Método do nivelamento geométrico

Os dados de referência utilizados para o nivelamento trigonométrico foram obtidos da iniciação científica “Verificação metrológica da qualidade de uma estação total: implantação de pontos de apoio e estudos de comandos embutidos”, obtendo-se os dados altimétricos georreferenciados à RRC/UFPE dos vértices NIATE, E3, CERMA e E9, além do ponto de apoio obtido por resseção E4, com nivelamento geométrico de precisão 0,0038 mm/km, perímetro de nivelamento e contra-nivelamento de 797,8 m e erro de fechamento no contranivelamento de 3 mm (SILVA & SEIXAS, 2017b). A Tabela 9 mostra as altimetrias encontradas nesta iniciação científica.

Tabela 9 - Coordenadas altimétricas dos pontos de apoio obtidas por nivelamento geométrico.

Ponto	Altitude (m)
E9	8,52497
NIATE	8,30747
E3	8,40697
E4	8,45547
CERMA	8,74747

Fonte: SILVA & SEIXAS (2017b)

7.4.5. Método do nivelamento trigonométrico

A poligonal de apoio, cujas alturas relativas foram obtidas por nivelamento trigonométrico, foi reprocessada no módulo planialtimétrico do software AstGeoTop (GARNÉS,2014), tendo como referência a altimetria do vértice NIATE em (SILVA & SEIXAS, 2017), obtendo-se as coordenadas atualizadas da Tabela 10. Na Tabela 11, tem-se a comparação entre o nivelamento trigonométrico realizado durante o levantamento da poligonal de apoio e o nivelamento geométrico realizado.

Tabela 10 - Coordenadas planialtimétricas georreferenciadas da poligonal de apoio.

VÉRTICES	X[m]	Y[m]	H (m)
NIATE	149887,4667	249543,5405	8,3075
E3	149892,5103	249592,4610	8,4068
CERMA	149854,9771	249609,8186	8,7613
MOCEAN2	149820,4102	249583,4298	9,0547
E9	149838,7603	249549,1523	8,5302

Fonte: AstGeoTop (2014).

Tabela 11 - Comparação entre as altitudes obtidas pelo nivelamento trigonométrico e geométrico para a poligonal de apoio, em metros.

VÉRTICES	H (geométrico)	H (trigonométrico)	Diferença (m)
NIATE	8,3075	8,3075	0,0000
E3	8,4070	8,4068	0,0002
CERMA	8,7475	8,7613	0,0138
E9	8,5250	8,5302	0,0052

Fonte: SILVA & SEIXAS (2017b), AstGeoTop (2014).

7.5 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO DAS EDIFICAÇÕES E BENFEITORIAS

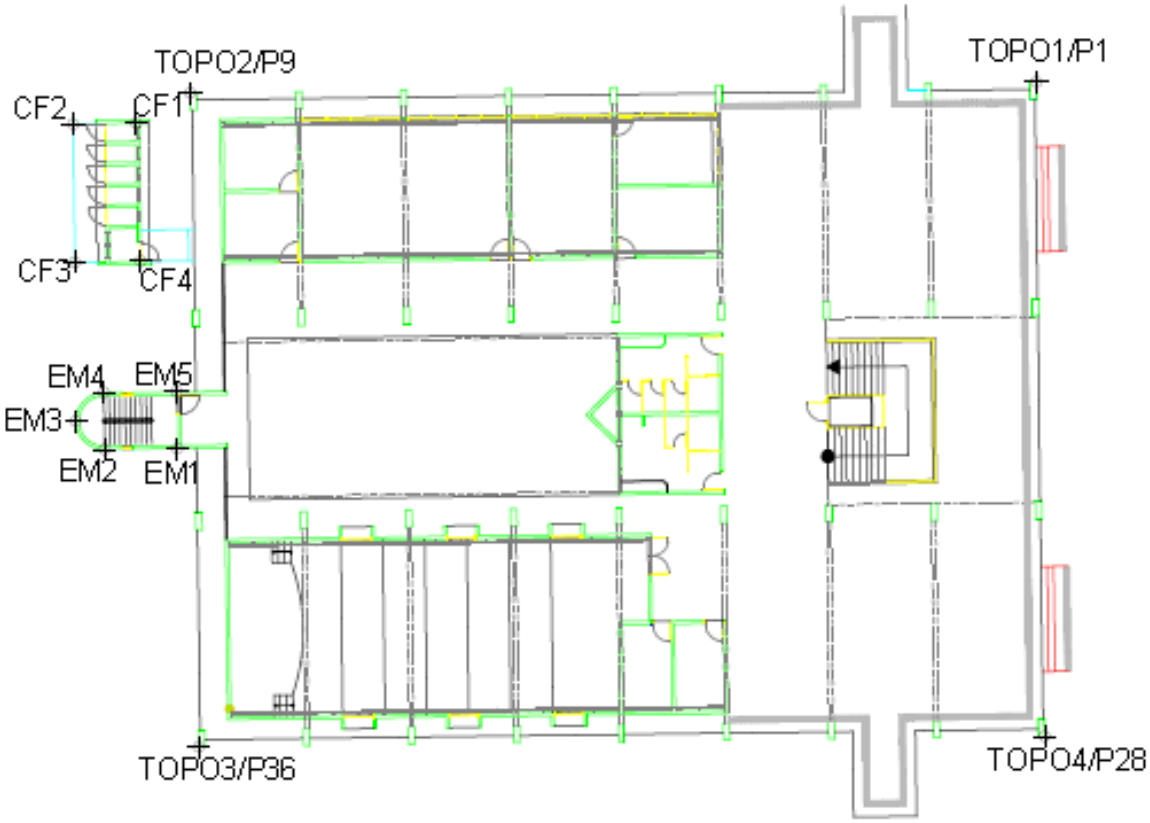
7.5.1 Edificações – método da interseção a vante

Para o levantamento das coordenadas planialtimétricas dos detalhes das edificações (prédio e casa de força), foi empregado o método da interseção a vante, já que o uso do distanciômetro eletrônico da Estação Total fica prejudicado em alvos não materializados com prisma, e pontos de contorno como quinas de paredes podem não oferecer um anteparo estável para que o feixe de LASER do distanciômetro possa ser refletido. Desta forma, somente é possível obter resultados

confiáveis com medições angulares, o que torna este método ideal para esta tarefa por não precisar da leitura da distância até o alvo de interesse para calcular suas coordenadas planialtimétricas.

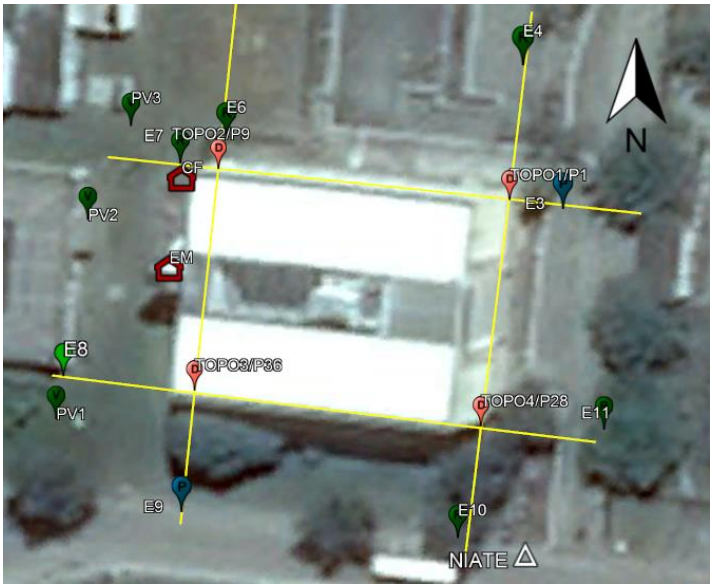
A Figura 25 apresenta um croqui baseado na planta de locação do NIATE CTG/CCEN com os pontos de detalhes levantados nas edificações. Os pontos TOPO1, TOPO2, TOPO3 E TOPO4 são os pontos inacessíveis do topo do edifício, localizados nas quinas externas. Os pontos CF1, CF2, CF3 e CF4 representam as quinas externas do topo da casa de força. Os pontos EM1, EM2, EM3, EM4 e EM5 representam o contorno da escada de emergência do edifício principal. A Figura 26 mostra o posicionamento dos pontos de detalhes relativo aos pontos de apoio topográficos implantados.

Figura 25 - Croqui de pontos de detalhe das edificações.



Fonte: PCU/UFPE (2011)

Figura 26 - Pontos de detalhe das edificações e pontos de apoio topográfico.



Fonte: Google Earth (2017).

7.5.1.1 Levantamento dos pilares externos do edifício principal

Foram levantados os quatro pilares situados nas quinas do edifício (Figura 27), nomeados P1, P9, P28 e P36 (Figuras 25 e 26). Em todos os pilares, foram realizadas duas medições, uma em um ponto próximo ao solo (ponto B) e outra em um ponto próximo ao encontro com a laje do pavimento superior (ponto A), nas quinas mais externas em relação ao interior do edifício. Em todos os pilares levantados, os pontos de referência conhecidos foram dispostos perpendiculares dois a dois no prolongamento das fachadas do edifício, segundo o método da prumagem plana. Os pilares P1 e P36 foram levantados durante em (XAVIER & SEIXAS, 2016), sendo P1 referenciado aos pontos de apoio E3 e E4 e P36 referenciado aos pontos de apoio E8 e E9. As coordenadas planimétricas das quinas dos pilares P1 e P36 encontram-se na Tabela 12. Todas estas coordenadas foram calculadas pelo módulo Interseção Direta do software AstGeoTop (GARNÉS, 2012), e suas altitudes foram retificadas neste TCC em relação a altitude ortométrica encontrada no vértice NIATE em (SILVA & SEIXAS, 2017).

Tabela 12 – Coordenadas dos pilares P1 e P36, alto (A) e baixo (B), com os erros em altitude.

Pontos-objeto	X	Y	H (m)	Erro H (m)
P1-B	149883,7076	249593,2997	12,1607	0,0022
P1-A	149883,7068	249593,2915	15,5609	0,0026
P36-B	149821,2151	249549,4531	9,1368	0,0009
P36-A	149821,2067	249549,4485	10,8801	0,0000

Fonte: AstGeoTop (2012).

Os pilares P9 e P28 foram determinados durante os levantamentos de campo deste TCC. O pilar P9 foi referenciado aos pontos E6 e E7, enquanto o pilar P28 foi referenciado aos pontos E10 e E11. As coordenadas dos pilares P9 e P28 foram calculadas usando algoritmo no software Matlab no Apêndice F, e encontram-se na Tabela 13. Houve grandes discrepâncias nos resultados obtidos para um ponto a partir de suas duas estações de referência (Erro H), provavelmente devido a dificuldade de encontrar pontos semelhantes em um pilar com superfície irregular. Recomenda-se refazer estas medições utilizando-se marcações confiáveis que garantam a medição, a partir de duas referências, de um único ponto na quina.

Tabela 13 - Coordenadas dos pilares P9 e P28, alto (A) e baixo (B), com os erros em altitude.

Pontos-objeto	X	Y	H (m)	Erro H (m)
P9-B	149843,5756	249597,5882	9,2492	0,0946
P9-A	149843,5878	249597,5805	12,8754	0,0799
P28-B	149879,9894	249562,0194	9,3309	0,2368
P28-A	149879,9561	249562,0308	12,9050	0,0030

Fonte: o autor (2017).

Figura 27 - Levantamento dos pilares P1 (esquerda) e P28 (direita).

Fonte: esquerda – o autor (2016), direita – o autor (2017)

7.5.1.2 Levantamento dos pontos de topo do edifício

As quinas do topo do edifício, nomeadas TOPO1, TOPO2, TOPO3 E TOPO4 (ver figuras 25 e 28), foram levantadas pelo método de interseção a vante e nivelamento trigonométrico, com visadas para onde as arestas verticais se encontram com o plano do topo do edifício (Figura 28). O ponto TOPO1 foi referenciado aos pontos de apoio E4 e E6. O ponto TOPO2 foi referenciado ao ponto de apoio E4 e ao ponto virtual PV3. O ponto TOPO3 foi referenciado ao vértice da poligonal de apoio NIATE e ao ponto virtual PV1. O ponto TOPO4, referenciado aos pontos NIATE e E9, foi calculado pelo módulo Interseção Direta do *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2012) e os algoritmos no Apêndice F. Já os pontos TOPO1, TOPO2 e TOPO3 foram calculados pelos algoritmos no *software* Matlab no Apêndice F. A razão disso foi o fato de ter sido impossível medir as leituras entre os pontos virtuais e os pontos estudados, de forma a não ser possível obter os ângulos alfa e beta do triângulo da interseção a vante (Figura 7, Seção 5.6) diretamente. Estes ângulos tiveram que ser obtidos por operações entre os azimutes das estações e seus pontos de referência de leitura e os ângulos horizontais medidos, sendo analisado a geometria de cada problema. As coordenadas do ponto TOPO4 encontra-se na Tabela 14. Já as coordenadas de TOPO1, TOPO2 e TOPO3 encontram-se na Tabela 15.

Tabela 14 - Coordenadas de TOPO4 com erro em altura.

Pontos-objeto	X	Y	H (m)	Erro H (m)
TOPO4 (NIATE/E9)	149880,3415	249561,5743	23,3222	0,0045

Fonte: AstGeoTop (2017).

Tabela 15 - Coordenadas de TOPO1, TOPO2 E TOPO3, com os erros em altura.

Pontos-objeto	X	Y	H (m)	Erro H (m)
TOPO1 (E4/E6)	149883,8656	249594,0434	23,3226	0,0010
TOPO2 (E4/PV3)	149843,6151	249598,3226	23,3441	0,0023
TOPO3 (NIATE/PV1)	149840,1536	249565,8542	23,3064	0,0198

Fonte: o autor (2017).

Figura 28 - Ponto TOPO3.

Fonte: o autor (2017).

7.5.1.3 Levantamento da fachada externa da escada de emergência

O edifício NIATE CTG/CCEN conta com uma escada de emergência na fachada oeste, a qual está em uma protuberância alongada com fim em uma seção semi-circular (Figura 25). Para obter as coordenadas desta protuberância do edifício por interseção a vante e nivelamento trigonométrico foram marcados quatro alvos a lápis na parede nas posições EM1, EM2, EM4 e EM5, e utilizado quina de um suporte para o parafuso que fixa o para-raios mais próximo do solo como posição para o EM3, por este se encontrar muito próximo da metade da seção semi-circular (Figura 29). Foi medido também o ponto EM3T, localizado na mesma posição planimétrica de EM3 mas no topo da protuberância. As coordenadas de EM1 e EM2 foram obtidas a partir do ponto de apoio E9 e do ponto virtual PV1. As coordenadas

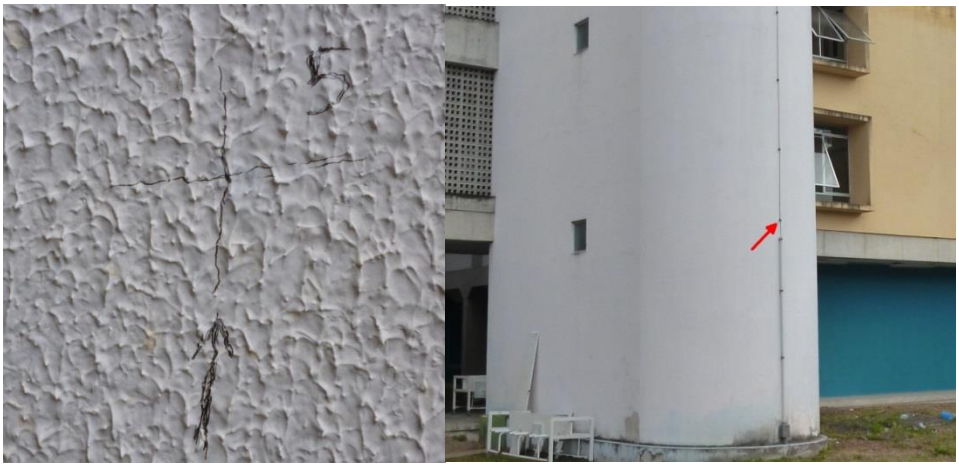
de EM4 e EM5 foram obtidas a partir dos pontos virtuais PV2 e PV3. As coordenadas de EM3 e EM3T foram obtidas a partir dos pontos virtuais PV1 e PV3. Todas as coordenadas foram calculadas pelos algoritmos no software Matlab no Apêndice F, em um procedimento semelhante ao usado para calcular TOPO1, TOPO2 e TOPO3. As coordenadas dos pontos da escada de emergência encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Coordenadas dos pontos da escada de emergência, com os erros em altura.

Pontos-objeto	X (m)	Y (m)	H (m)	Erro H (m)
EM1 (E9/PV1)	149841,4758	249580,7644	10,5195	0,0025
EM2 (E9/PV1)	149836,7965	249581,2884	10,4952	0,0048
EM3 (PV1/PV3)	149835,5439	249582,8333	12,0949	0,0017
EM3T (PV1/PV3)	149835,4974	249582,8485	22,1680	0,0071
EM4 (PV2/PV3)	149837,1037	249584,0498	10,3024	0,0018
EM5 (PV2/PV3)	149841,5453	249583,5366	10,3515	0,0012

Fonte: o autor (2017).

Figura 29 - Marcação do ponto EM5 feita na fachada externa parede da escada de emergência (esquerda) e parafuso que marcou ponto EM3 (direita).



Fonte: o autor (2017)

7.5.1.4 Levantamento da casa de força

Foram definidos quatro pontos da casa de força (Figura 30), denominados CF1, CF2, CF3 e CF4, localizados nas quinas entre as arestas e o plano do topo da edificação. Os pontos CF2 e CF3 foram referenciados aos pontos virtuais PV2 e PV3. O ponto CF1 foi referenciado ao ponto de apoio E6 e ao ponto virtual PV3. O ponto CF4 foi referenciado ao ponto de apoio E6 e ao ponto virtual PV2. As

coordenadas foram calculadas em algoritmos no *software* Matlab no Apêndice F, seguindo procedimento semelhante aos pontos TOPO1, TOPO2, TOPO3 e os da fachada externa da escada de emergência. As coordenadas dos pontos encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Coordenadas dos pontos da casa de força, com os erros em altura.

Pontos-objeto	X (m)	Y (m)	H (m)	Erro H (m)
CF1 (E6/PV3)	149841,4639	249596,5147	11,2311	0,0061
CF2 (PV2/PV3)	149838,6901	249596,7799	11,2544	0,0008
CF3 (PV2/PV3)	149837,9672	249590,0891	11,2414	0,0007
CF4 (E6/PV2)	149840,7092	249589,7962	11,2352	0,0048

Fonte: o autor (2017)

Figura 30 - Localização da casa de força a direita.

Fonte: o autor (2017).

7.5.2 Método da irradiação 3D – Estacionamento e calçadas

7.5.2.1 Levantamento do estacionamento norte e leste

O levantamento dos detalhes do estacionamento foi realizado utilizando o método da Irradiação 3D a partir do ponto de apoio E11 com referência no vértice

NIATE para o estacionamento leste (até o ponto MF19) e a partir do ponto de apoio E6 com referência no ponto de apoio E4 para o estacionamento norte (a partir de MF20), com o prisma acoplado ao bastão sobre o meio-fio externo em pontos escolhidos de forma a cobrir as mudanças de direção (três pontos por curvas e um ponto por quinas). As coordenadas calculadas pelos algoritmos Matlab do Apêndice G encontram-se no Apêndice A.

7.5.2.2 Levantamento das calçadas

Os detalhes interiores das calçadas e jardins foram levantados utilizando-se do método da irradiação 3D a partir do vértice NIATE da poligonal de apoio com referência no ponto de apoio E9 (CL01 a CL10), do ponto de apoio E4 com referência ao ponto de apoio E6 (CL11 a CL30), do ponto de apoio E9 com referência ao vértice NIATE (CL03 e CL04) e do ponto virtual PV1 com referência ao vértice NIATE (CL31). As coordenadas foram calculadas pelos algoritmos no software Matlab no Apêndice G e encontram-se no Apêndice B.

7.6 CONTROLE DIMENSIONAL DE PILARES E PAVIMENTOS

7.6.1 Medição e análise de alturas entre os pavimentos

O controle das alturas entre os pavimentos do edifício foi realizado utilizando-se o nivelamento geométrico em caminhamentos pela escada do edifício, com referência altimétrica no vértice NIATE da poligonal de apoio. O nivelamento geométrico apresentou erro de fechamento de 2 mm no contranivelamento, em um perímetro de nivelamento e contranivelamento de 131,4 m, com precisão de 0,015 mm/m. Logo após o procedimento de campo, as alturas foram medidas a trena para comparação. A Tabela 18 fornece as alturas medidas a trena e com o nivelamento geométrico, com a diferença entre ambos.

Tabela 18 – Alturas de pavimentos e comparação entre métodos.

PAVIMENTO	ALTITUDE – NIV. G. (m)	ALTITUDE – TRENA (m)	DIFERENÇA (m)
TÉRREO	9,152	9,152	0,000
1º ANDAR	12,883	12,880	0,003
2º ANDAR	16,043	16,031	0,012

Fonte: o autor (2017).

7.6.2 Análise de verticalidade dos pilares

Foi analisada a verticalidade dos quatro pilares medidos por interseção a vante na seção 7.5.1.1, através do método da prumagem plana. A verticalidade dos pilares P1 e P36 foi levantada em (XAVIER & SEIXAS, 2016), enquanto a verticalidade dos pilares P9 e P28 foi levantada em outubro de 2017. A Tabela 19 mostra as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos alto e baixo medidos em cada pilar e o desvio angular (inclinação) destes pilares em relação a vertical.

Tabela 19– Discrepâncias planimétricas entre os pontos alto e baixo dos pilares e desvios verticais verificados

Pilar	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)	Desvio angular vertical
P1	-0,0008	-0,0082	3,4002	8’20”
P9	0,0122	-0,0077	3,6262	13’41”
P28	-0,0332	0,0114	3,5741	33’51”
P36	-0,0084	-0,0046	1,7433	18’53”

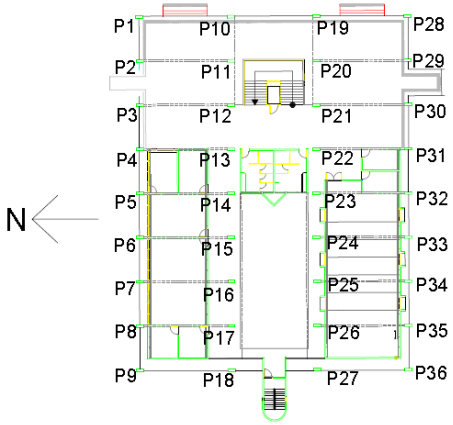
Fonte: o autor (2017).

7.6.3 Análise dimensional de pilares

Os 36 pilares do edifício (100%) tiveram suas dimensões (comprimento e largura) medidos a trena, para análise estatística. Também foram medidas as distâncias entre pilares nos sentidos norte-sul e leste-oeste. Dez distâncias no sentido norte-sul não puderam ser medidas devido aos cômodos do prédio se encontrarem no espaço (Figura 31).

Na análise dimensional dos pilares, foram medidos o comprimento e a largura de cada pilar a trena, obtendo-se um resultado de 785 mm ± 1mm no comprimento e 350 mm ± 0 mm na largura, no intervalo de confiância de 95% com uma diferença de 45 mm no comprimento e 50 mm na largura em relação ao previsto no projeto. O Apêndice C apresenta os resultados das medições das dimensões dos pilares a trena e a análise estatística das amostras.

Figura 31 – Disposição e nomenclatura dos pilares (retângulos em verde) do edifício NIATE CTG/CCEN.



Fonte: PCU/UFPE (2011).

Na análise das distâncias entre pilares no alinhamento leste-oeste, a distância medida entre os pilares foi de 4,647 m ± 0,002 m, no intervalo de confiância de 95% , com uma diferença de 53 mm para o previsto no projeto. As medições e a análise estatística encontram-se no Apêndice D.

A Tabela 20 apresenta as medições das distâncias entre pilares no alinhamento norte-sul, no setor norte do edifício (Figura 31). A distância medida entre os pilares foi de 9,548 m ± 0,003 m, com uma diferença de 49 mm para o previsto no projeto.

Tabela 20 – Distâncias no sentido norte-sul na parte norte.

ALINHAMENTO	DIST (mm)
P1P10	9554
P2P11	9550
P3P12	9552
P4P13	9554
P9P18	9534
MÉDIA	9549
VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO	57
VARIÂNCIA DA AMOSTRA	71
DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO	8

DESVIO-PADRÃO	8
DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	1,4
MAIOR VALOR	9554
MENOR	9534
AMPLITUDE	20
INCERTEZA	2,8
PROJETO	9500
DIFERENÇA	-49
DESVIO-PADRÃO	8
DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	1,4

Fonte: o autor (2017).

A Tabela 21 apresenta as medições das distâncias entre pilares no alinhamento norte-sul, no setor central do edifício (Figura 31). A distância medida entre os pilares foi de 8,873 m ± 0,004 m, no intervalo de confiância de 95%, com uma diferença de 23 mm para o previsto no projeto.

Tabela 21 – Distâncias no sentido norte-sul na parte central.

ALINHAMENTO	DIST (mm)
P10P19	8878
P11P20	8882
P12P21	8887
P13P22	8878
P15P24	8860
P16P25	8855
P17P26	8864
P18P27	8880
MÉDIA	8873
VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO	119

VARIÂNCIA DA AMOSTRA	136
DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO	11
DESVIO-PADRÃO	12
DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	2
MAIOR VALOR	8887
MENOR	8855
AMPLITUDE	32
INCERTEZA	4
PROJETO	8850
DIFERENÇA	-23
VARIÂNCIA DA AMOSTRA	136

Fonte: o autor (2017).

A Tabela 22 apresenta as medições das distâncias entre pilares no alinhamento norte-sul, no setor sul do edifício (Figura 31). A distância medida entre os pilares foi de 9,552 m ± 0,003 m, no intervalo de confiância de 95% , com uma diferença de 2 mm para o previsto no projeto.

Tabela 22 – Distâncias no sentido norte-sul na parte sul.

P19P28	9546
P20P29	9556
P21P30	9560
P22P31	9556
P27P36	9540
MÉDIA	9552
VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO	55
VARIÂNCIA DA AMOSTRA	69
DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO	7

DESVIO-PADRÃO	8
DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	1,4
MAIOR VALOR	9560
MENOR	9540
AMPLITUDE	20
INCERTEZA	2,8
PROJETO	9550
DIFERENÇA	-2
DESVIO-PADRÃO	8

Fonte: o autor (2017).

7.7. ORIGINAL TOPOGRÁFICO E PLANTA PLANIALTIMÉTRICA E CADASTRAL

Após os processamentos e análises dos resultados foram elaborados o Original Topográfico, com todos os pontos medidos em campo, e a Planta Planialtimétrica e Cadastral, de acordo com a NBR 14645-1/2001, objetivo específico deste TCC. O Original Topográfico e a Planta Planialtimétrica e Cadastral encontram-se no Apêndice I.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O levantamento "*as built"* realizado mostrou que os produtos gerados de acordo com a NBR14645 podem ser de grande valia para a atualização cadastral, sobretudo para instituições sem normatização definida para a atividade como pequenas prefeituras. Foi possível obter um produto de qualidade que, não apenas foi de grande utilidade para a análise dimensional da obra com fins de verificar se o que foi construído corresponde realmente ao projetado, como também forneceu uma descrição geométrica detalhada e precisa do imóvel e suas benfeitorias, mostrando um documento que já é utilizado para o controle da edificação durante e após sua construção pode também fornecer material de atualização cadastral a custo mínimo para o poder público.

A execução das atividades deste TCC, porém, revelou que o "*as built"* como regulamenta a NBR 14645 não se trata de um projeto de levantamento trivial de se executar e concluir. Foram necessários sete dias de aquisição de dados em campo, sendo dois dias em período integral (8 horas), e mais quatro semanas de serviço de escritório, realizando-se o processamento de dados, análise de resultados e geração de produtos. Também deve se levar em consideração o auxílio dos dados obtidos nas pesquisas de iniciação científica e de mestrado, além de disciplinas da área no período de 2015 a 2017, sem os quais a execução deste projeto levaria muito mais tempo. A experiência obtida com este TCC levou a conclusão de que um levantamento "*as built"* de um imóvel do porte do edifício NIATE CTG/CCEN deve empregar uma equipe mínima de cinco pessoas, incluindo um engenheiro cartógrafo ou agrimensor, um topógrafo e três auxiliares, em três semanas de aquisição de dados, duas semanas de processamento de dados e análises de resultados e uma semana para geração do Original Topográfico, Planta Planialtimétrica e Cadastral e Relatório Técnico. O tempo de processamento e geração de produtos pode ser

reduzido com o emprego de melhores *softwares* para estas finalidades, e a inclusão de um profissional de Tecnologia da Informação com conhecimento na área de cartografia ou agrimensura.

Por esta razão, é de se compreender por que os levantamentos deste tipo realizados no Brasil raramente cumprem as exigências previstas na norma como o georreferenciamento dos dados obtidos, uma vez que raramente as empresas de Construção Civil contam com profissionais qualificados na área, que devido a escassez, torna-se uma mão de obra muito cara para a realidade destas empresas. A maior parte dos projetos que se encontram não é georreferenciada nem cumprem as exigências de instrumentação e precisão previstas na norma, sendo muitas vezes executados a trena. Isto torna os levantamentos sem utilidade para a atualização cadastral. O poder público também não tem condições de exigir este tipo de levantamento, tanto por não ter condições de fiscalizar, como também porque isso inviabilizaria muitos projetos de Construção Civil.

Algumas recomendações apontadas durante a execução deste projeto:

- Na implantação de uma poligonal de apoio, evitar muita proximidade entre dois vértices consecutivos, já que os lados curtos prejudicam a precisão angular das medições e podem inviabilizar a poligonal;
- Para a realização da prumagem plana, implantar os pontos de referência de uma quina com interseção a ré a partir de uma poligonal de apoio quando não for possível manter um espaçamento adequado entre eles;
- O levantamento de pilares deve ser executado antes do fechamento dos cômodos e repartições internas do edifício, e deve ser realizado em cada pavimento até o topo da edificação para o controle do dimensionamento, distanciamento e verticalidade;
- Evitar o uso de pontos não intervisíveis para a base na interseção a vante, pois eles dificultam mais os cálculos de processamento e impossibilitam o emprego da maioria dos *softwares* de Topografia.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. NBR 14.166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. NBR 14.645-1 – **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.

ABNT. NBR 14.645-2 – **Elaboração do "como construído" (as built) para edificações – Parte 2: Levantamento planimétrico para registro público, para retificação de imóvel urbano – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. NBR 14.645-3 – **Elaboração do "como construído" (as built) para edificações – Parte 3: Locação topográfica e controle dimensional da obra – Procedimento.** Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2011.

ARAÚJO, A. I. P. de. **Geodésia Aplicada aos Estudos de Verticalização de Edifício Predial de Grande Porte.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

AUTODESK. ***Software* AutoCAD.** V.2014

BOTELHO, F. J. L. **Métodos Geodésicos para Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais.** Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia.** Globo. Porto Alegre, 1978, 696p.

ERBA, A. D. (org.); THUM, A. B.; SILVA, C. A. U. da; SOUZA, G. C. de; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T. C. B. **Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia.** Editora Unissinos, 2005.

GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop – Módulo Interseção Direta.** Software. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop – Módulo Lev.Planialtimétrico.** Software. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.** Editora UFPR. Curitiba, 1994. 319pp.

GOMES, D. de A. M.; SEIXAS, A. de. A **Instrumentalização Óptica e a LASER da Linha de Prumo.** VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2013.

GOOGLE.. **Software Google Earth**, v. 7.1.5.1557.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying.** Ed. De Gruyter, Berlin, 1988.

MATHWORKS. **Software MATLAB**, v. R2013a.

MENDONÇA, F. J. B.; 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.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2010.

MICROSOFT. **Software Microsoft Excel**, v.2010.

DE OLIVEIRA, J. E. **A metrologia aplicada aos setores industrial e de serviços: Principais aspectos a serem compreendidos e praticados no ambiente organizacional.** SEBRAE. Brasília, 2008.

SANTOS, J. C.; FARIAS, E. S.; CARNEIRO, A. F. T. **Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro.** Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 4, p.574-587, out-dez, 2013.

SILVA, G. P. **Uma Abordagem Geodésica da Locação e Controle Dimensional de Estruturas da Construção Civil.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, E. V.; SEIXAS, A. de . **Análise Temporal da Qualidade de Estruturas Da RAAP No Campus Recife da UFPE e o Estabelecimento de Uma Rede Altimétrica Local.** In: IV Simpósio Brasileiro de Geomática, SBG 2017; II Jornadas Lusófonas – Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica – CTIG 2017, Presidente Prudente, 2017. P. 423-429.

SILVA E. de V. **Monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica: campus Recife da UFPE.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, M. L.; SANTOS, W.; XAVIER, A. M.; SEIXAS, A. **Uma abordagem metodológica para o monitoramento de estruturas de construção civil com emprego de estação total.** VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2016.

SILVA, I. da; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia Para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática.** Editora Campus. 1ª Ed., 2015.

SILVA, T. R. F.; SEIXAS, A. de. **Verificação metrológica da qualidade de uma estação total: implantação de pontos de apoio e estudos de comandos embutidos.** In: XXV Congresso Nacional de Iniciação Científica – CONIC 2017, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia. Conceitos fundamentais e termos associados (VIM 2012).** Edição Luso-Brasileira. Inmetro. Duque de Caxias, RJ, 2012. 94p.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do Campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal.** Trabalho final de graduação. Relatório parcial. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

WOLF, P.; GHILANI, G. **Adjustement Computations: Statistics and least squares in surveying and GIS.** John Wiley&Sons Inc. New York, 1996.

XAVIER, A. M.; SEIXAS, A.; **transporte de altura na direção da linha de prumo e os métodos de prumagem.** XXIV CONIC e VIII CONITI, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

APÊNDICE A – COORDENADAS DOS PONTOS NO ESTACIONAMENTO DO EDIFÍCIO NIATE CTG/CCEN POR IRRADIAÇÃO 3D

Tabela: Coordenadas dos pontos no estacionamento do edifício NIATE CTG/CCEN por irradiação 3D.

PONTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
MF01	149885,3697	249542,1395	8,2740
MF02	149886,9593	249542,6709	8,2939
MF03	149887,6153	249543,8260	8,3106
MF04	149889,6170	249562,9584	8,4160
MF05	149889,1959	249564,0109	8,4103
MF06	149888,3175	249564,5686	8,4292
MF07	149883,8428	249565,0998	8,4663
MF08	149886,7518	249592,0784	8,4551
MF09	149891,2316	249591,6758	8,4424
MF10	149892,2189	249591,9830	8,4338
MF11	149892,8494	249592,9467	8,4281
MF12	149893,2306	249596,5127	8,4226
MF13	149892,8511	249597,6885	8,4338
MF14	149891,7132	249598,2110	8,4446
MF15	149888,8610	249598,5334	8,4482
MF16	149890,1937	249611,0987	8,4615
MF17	149893,9122	249622,3205	8,3968
MF18	149892,0635	249622,5510	8,3855
MF19	149896,0200	249624,0185	8,3988
MF20	149896,2681	249626,2910	8,4203
MF21	149895,8849	249627,6044	8,4300
MF22	149894,5135	249628,3503	8,4557
MF23	149891,4525	249628,6960	8,5295
MF24	149889,2486	249627,1570	8,5022
MF25	149894,3253	249626,3747	8,4171
MF26	149889,3018	249623,0899	8,4788
MF27	149888,5783	249622,9401	8,4822
MF28	149888,0895	249622,3189	8,4844
MF29	149885,0202	249604,0183	8,4099
MF30	149885,3224	249603,1936	8,4273
MF31	149886,1109	249602,7691	8,4373
MF32	149889,1787	249602,4154	8,4567
MF33	149855,2145	249602,1197	8,6404
MF34	149858,2194	249630,1439	8,3985
MF35	149860,9601	249637,0093	8,3838
MF36	149873,8441	249635,5373	8,3653
MF37	149870,7959	249607,4067	8,3468
MF38	149865,8455	249607,8850	8,4892
MF39	149866,3147	249606,4604	8,4903
MF40	149867,5844	249605,7794	8,4922
MF41	149877,4930	249604,7199	8,3961
MF42	149878,5728	249604,7529	8,3891
MF43	149879,4756	249605,3443	8,3647
MF44	149879,9783	249606,3756	8,3571
MF45	149874,9210	249606,9084	8,3151
MF46	149878,0335	249635,0869	8,4360
MF47	149895,4657	249633,1311	8,4709
MF48	149896,5258	249633,5820	8,5217
MF49	149896,9680	249634,6456	8,6139

Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE B – COORDENADAS DOS PONTOS DAS CALÇADAS DO EDIFÍCIO NIATE CTG/CCEN POR IRRADIAÇÃO 3D

Tabela : Coordenadas dos pontos das calçadas do edifício NIATE CTG/CCEN por irradiação 3D.

PONTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
CL01	149826,8233	249550,4026	8,5300
CL02_IC	149868,3490	249546,0034	8,4725
CL02_MC	149869,1094	249546,1779	8,4627
CL02_FC	149869,4682	249546,8131	8,4774
RP3	149870,1019	249552,5730	8,6183
RP2	149870,8627	249559,5591	9,1257
RP1	149873,8681	249559,2287	9,1256
RP4	149873,1147	249552,2640	8,6036
CL05_IC	149872,5353	249546,4936	8,4531
CL05_MC	149872,7528	249545,8377	8,4137
CL05_FC	149873,4396	249545,4521	8,4372
CL06_IC	149879,5128	249544,8180	8,4371
CL06_MC	149880,2703	249545,2231	8,4411
CL06_FC	149880,6194	249546,0558	8,4351
CL07_IC	149882,2982	249564,4138	8,5657
CL07_MC	149882,1502	249564,9557	8,5945
CL07_FC	149881,6094	249565,1998	8,5948
CL08	149880,6500	249565,3598	9,1474
CL09	149881,1982	249570,4134	9,1483
CL10_IC	149882,1623	249570,2781	8,6068
CL10_MC	149882,7484	249570,5182	8,5615
CL10_FC	149883,0177	249571,1821	8,5554
R1	149894,7354	249543,4811	8,2749
R2	149899,4398	249587,8037	8,3368
CL11_IC	149884,4446	249584,2686	8,5578
CL11_MC	149884,1775	249584,7352	8,5670
CL12	149882,7843	249585,2527	9,1465
CL13	149883,3122	249590,2802	9,1547
CL14_IC	149884,2775	249590,2005	8,6022
CL14_MC	149884,9006	249590,5062	8,5818
CL14_FC	149885,1596	249590,9600	8,5762
CL15_IC	149885,3824	249592,9027	8,5865
CL15_MC	149885,2546	249593,4792	8,6003
CL15_FC	149884,5822	249593,9557	8,7119
CL17	149884,9185	249596,9748	8,7314
CL18_I	149877,5816	249593,6453	9,1616
CL18_F	149877,6876	249594,6764	9,1595
CL19	149878,0300	249597,7005	9,1558
CL20	149878,1383	249598,6548	8,5305
CL21	149875,0216	249598,9737	8,5186
CL22	149874,9367	249598,0499	9,1553
CL23_F	149874,5974	249595,1934	9,1570
CL23_I	149874,4954	249593,9664	9,1604
CL24	149867,9562	249598,8127	8,6573
CL25	149867,6857	249595,7617	8,7089
L2	149896,9264	249632,9590	8,3524
CL32_IC	149855,4838	249601,9377	8,6516
CL32_MC	149854,5893	249602,5866	8,6727
CL32_FC	149854,3444	249603,4711	8,6651
CL26_IC	149851,8244	249597,4643	8,7147
CL26_MC	149850,9234	249598,0601	8,7316
CL26_FC	149850,6559	249599,0619	8,7233
CL27	149850,8354	249600,7409	8,7251
CL29_IC	149839,0359	249601,8960	8,7683
CL29_MC	149838,0805	249601,4615	8,7659
CL29_FC	149837,4973	249600,4092	8,7511
CL30_IC	149840,0354	249600,1131	8,7781
CL30_MC	149839,3545	249599,7229	8,8033
CL30_FC	149839,0157	249599,2252	8,8339

Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE C – ANÁLISE DIMENSIONAL DE PILARES

Tabela: Dados de comprimento e largura dos Pilares do Pavimento Térreo do Edifício NIATE/CTG/CCEN.

PILAR	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)
P1	785	350
P2	786	350
P3	787	350
P4	786	350
P5	781	350
P6	786	350
P7	790	350
P8	789	352
P9	782	350
P10	787	349
P11	780	350
P12	790	348
P13	784	350
P14	785	350
P15	787	350
P16	783	350
P17	789	351
P18	787	351
P19	790	351
P20	785	350
P21	784	350
P22	786	352
P23	785	350
P24	790	350
P25	786	349
P26	780	350
P27	779	348

P28	782	350
P29	786	348
P30	785	351
P31	790	350
P32	788	350
P33	786	350
P34	784	348
P35	784	350
P36	778	349
MÉDIA	785	350
VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO	10	1
VARIÂNCIA DA AMOSTRA	10	1
DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO	3	1
DESVIO-PADRÃO	3	1
DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	1	0
MAIOR VALOR	790	352
MENOR VALOR	778	348
AMPLITUDE	12	4
INCERTEZA	1	0
PROJETO	830	300
DIFERENÇA	45	-50
P28	782	350
P29	786	348
P30	785	351
P31	790	350
P32	788	350
P33	786	350
P34	784	348

Fonte:o autor (2017).

APÊNDICE D – ANÁLISE DE DISTÂNCIAS ENTRE PILARES NO SENTIDO LESTE-OESTE

Tabela: Dados das distâncias entre Pilares no sentido leste-oeste do pavimento Térreo do Edifício NIATE/CTG/CCEN

ALINHAMENTO	DIST (mm)		P26P27	4648
P1P2	4652		P28P29	4646
P2P3	4660		P29P30	4645
P3P4	4646		P30P31	4660
P4P5	4639		P31P32	4638
P5P6	4647		P32P33	4642
P6P7	4646		P33P34	4650
P7P8	4644		P34P35	4646
P8P9	4646		P35P36	4640
P10P11	4650		MÉDIA	4647
P11P12	4650		VARIÂNCIA DA POPULAÇÃO	29
P12P13	4654		VARIÂNCIA DA AMOSTRA	30
P13P14	4638		DESVIO QUADRÁTICO MÉDIO	5
P14P15	4645		DESVIO-PADRÃO	5
P15P16	4648		DESVIO-PADRÃO DA MÉDIA	1
P16P17	4650		MAIOR VALOR	4660
P17P18	4645		MENOR VALOR	4638
P19P20	4646		AMPLITUDE	22
P20P21	4648		INCERTEZA	2
P21P22	4650		PROJETO	4700
P22P23	4638		DIFERENÇA	53
P23P24	4641		P26P27	4648
P24P25	4650		P28P29	4646
P25P26	4650		P29P30	4645

Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE E – ALGORITMO EM MATLAB PARA A INTERSEÇÃO A RÉ

Exemplo de Algoritmo para o vértice E6:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A RÉ - VÉRTICE E6');
disp('-----------------------------------------------------------');


disp('E6 para E4');
disp('Série 1 Dados');

E6_E4_1_H_PD = [000 00 00]
E6_E4_1_H_PD = dms2degrees(E6_E4_1_H_PD);
E6_E4_1_H_PI = [179 59 57]
E6_E4_1_H_PI = dms2degrees(E6_E4_1_H_PI);
E6_E4_1_V_PD = [090 23 07]
E6_E4_1_V_PD = dms2degrees(E6_E4_1_V_PD);
E6_E4_1_V_PI = [269 37 11]
E6_E4_1_V_PI = dms2degrees(E6_E4_1_V_PI);
E6_E4_1_DI_PD = 42.736
E6_E4_1_DI_PI = 42.735

disp('Série 1 Resultados');

E6_E4_1_H = (E6_E4_1_H_PD + E6_E4_1_H_PI - 180)/2;
E6_E4_1_Hd = degrees2dms(E6_E4_1_H)
E6_E4_1_V = (360 + E6_E4_1_V_PD - E6_E4_1_V_PI)/2;
E6_E4_1_Vd = degrees2dms(E6_E4_1_V)

E6_E4_1_DI = (E6_E4_1_DI_PD + E6_E4_1_DI_PI)/2

disp('Série 2 Dados');

E6_E4_2_H_PD = [359 59 58]
E6_E4_2_H_PD = dms2degrees(E6_E4_2_H_PD);
E6_E4_2_H_PI = [179 59 56]
E6_E4_2_H_PI = dms2degrees(E6_E4_2_H_PI);
E6_E4_2_V_PD = [090 22 53]
E6_E4_2_V_PD = dms2degrees(E6_E4_2_V_PD);
E6_E4_2_V_PI = [269 37 14]
E6_E4_2_V_PI = dms2degrees(E6_E4_2_V_PI);
E6_E4_2_DI_PD = 42.736
E6_E4_2_DI_PI = 42.733

disp('Série 2 Resultados');
```

```
E6_E4_2_H = ((E6_E4_2_H_PD + E6_E4_2_H_PI + 180)/2);
E6_E4_2_Hd = degrees2dms(E6_E4_2_H)
E6_E4_2_V = (360 + E6_E4_2_V_PD - E6_E4_2_V_PI)/2;
E6_E4_2_Vd = degrees2dms(E6_E4_2_V)

E6_E4_2_DI = (E6_E4_2_DI_PD + E6_E4_2_DI_PI)/2

disp('E6-E4 médias');

E6_E4_H = ((360 + E6_E4_1_H + E6_E4_2_H)/2) - 360;
E6_E4_H = E6_E4_H;
E6_E4_Hd = degrees2dms(E6_E4_H)
E6_E4_V = (E6_E4_1_V + E6_E4_2_V)/2;
E6_E4_Vd = degrees2dms(E6_E4_V)
E6_E4_DI = (E6_E4_1_DI + E6_E4_2_DI)/2

disp('----------------------------------------');

disp('E6 para CEERMA');
disp('Série 1 Dados');

E6_CEERMA_1_H_PD = [333 10 03]
E6_CEERMA_1_H_PD = dms2degrees(E6_CEERMA_1_H_PD);
E6_CEERMA_1_H_PI = [153 09 54]
E6_CEERMA_1_H_PI = dms2degrees(E6_CEERMA_1_H_PI);
E6_CEERMA_1_V_PD = [089 58 12]
E6_CEERMA_1_V_PD = dms2degrees(E6_CEERMA_1_V_PD);
E6_CEERMA_1_V_PI = [270 02 05]
E6_CEERMA_1_V_PI = dms2degrees(E6_CEERMA_1_V_PI);
E6_CEERMA_1_DI_PD = 13.807
E6_CEERMA_1_DI_PI = 13.807

disp('Série 1 Resultados');

E6_CEERMA_1_H = ((E6_CEERMA_1_H_PD + E6_CEERMA_1_H_PI + 180)/2);
E6_CEERMA_1_Hd = degrees2dms(E6_CEERMA_1_H)
E6_CEERMA_1_V = (360 + E6_CEERMA_1_V_PD - E6_CEERMA_1_V_PI)/2;
E6_CEERMA_1_Vd = degrees2dms(E6_CEERMA_1_V)

E6_CEERMA_1_DI = (E6_CEERMA_1_DI_PD + E6_CEERMA_1_DI_PI)/2

disp('Série 2 Dados');

E6_CEERMA_2_H_PD = [333 10 06]
E6_CEERMA_2_H_PD = dms2degrees(E6_CEERMA_2_H_PD);
E6_CEERMA_2_H_PI = [153 09 52]
E6_CEERMA_2_H_PI = dms2degrees(E6_CEERMA_2_H_PI);
E6_CEERMA_2_V_PD = [089 58 04]
E6_CEERMA_2_V_PD = dms2degrees(E6_CEERMA_2_V_PD);
E6_CEERMA_2_V_PI = [270 01 58]
E6_CEERMA_2_V_PI = dms2degrees(E6_CEERMA_2_V_PI);
E6_CEERMA_2_DI_PD = 13.806
E6_CEERMA_2_DI_PI = 13.806

disp('Série 2 Resultados');

E6_CEERMA_2_H = ((E6_CEERMA_2_H_PD + E6_CEERMA_2_H_PI + 180)/2);
E6_CEERMA_2_Hd = degrees2dms(E6_CEERMA_2_H)
E6_CEERMA_2_V = (360 + E6_CEERMA_2_V_PD - E6_CEERMA_2_V_PI)/2;
```

```
E6_CEERMA_2_Vd = degrees2dms(E6_CEERMA_2_V)

E6_CEERMA_2_DI = (E6_CEERMA_2_DI_PD + E6_CEERMA_2_DI_PI)/2

disp('E6-CEERMA médias');

E6_CEERMA_H = (E6_CEERMA_1_H + E6_CEERMA_2_H)/2;
E6_CEERMA_Hd = degrees2dms(E6_CEERMA_H)
E6_CEERMA_V = (E6_CEERMA_1_V + E6_CEERMA_2_V)/2;
E6_CEERMA_Vd = degrees2dms(E6_CEERMA_V)
E6_CEERMA_DI = (E6_CEERMA_1_DI + E6_CEERMA_2_DI)/2

disp('Cálculo das coordenadas por resseção');

%Ré = E4
%Vante = CEERMA

disp('Dados iniciais');


XV = 149854.9743  %Coordenada X da vante
YV = 249609.8177  %Coordenada Y da vante
HV = 8.74747   %Coordenada Z da vante
HPV = 1.416  %Altura do prisma na vante
DIV = E6_CEERMA_DI   %Distância inclinada (media) para a vante
VV = E6_CEERMA_V   %Angulo Zenital (Media) para a vante
%VV = dms2degrees(VV)
XR = 149886.0206  %Coordenada X da ré
YR = 249609.2875  %Coordenada Y da ré
HR = 8.45547   %Coordenada Z da ré
HPR = 1.416  %Altura do prisma na ré
DIR = E6_E4_DI  %Distância inclinada (media) para a ré
VR = E6_E4_V   %Angulo Zenital (Media) para a ré
%VR = dms2degrees(VR)
HI = 1.440  %Altura do instrumento na estação
alfa = E6_CEERMA_H - E6_E4_H %Ângulo na estação, lido horizontal (média) da
ré para vante
%alfa = dms2degrees(alfa)
%AzVR = [5 53 10.43] %Azimute inicial da vante para a ré
%AzVR = dms2degrees(AzVR)

disp('Distâncias horizontais');

d1 = DIR*sind(VR)  %Lado entre a ré e a estação
d2 = DIV*sind(VV)    %Lado entre a vante e a estação

disp('Azimute inicial');

deltaX = XV - XR;
deltaY = YV - YR;
teta = atand((abs(deltaY))/(abs(deltaX)));

%Azimute de ré pra vante
if (deltaX > 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 90 - teta
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 90 + teta
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 270 - teta
```

```
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 270 + teta
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 0
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 180
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY == 0)
    AzRV = 90
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY == 0)
    AzRV = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

%Azimute de vante pra ré (contra-azimute)
if (AzRV > 180)
    AzVR = AzRV - 180
    else
    AzVR = AzRV + 180
end

disp('Cálculo da base');

disp('Por coordenadas:');

Dcoord = sqrt(((XR-XV)^2)+((YR-YV)^2))

disp('Por lei dos cossenos:');

Dlc = sqrt((d1^2)+(d2^2)-(2*d1*d2*(cosd(alfa))))

disp('Fator de escala');

q = Dcoord/Dlc

disp('Ângulos internos');

gama = asind(((sind(alfa))*d2)/Dcoord)  %Ângulo na ré
beta = 180 - (alfa + gama)      %Ângulo na vante

disp('Azimute dos lados');

AzRE = AzRV + gama  %Azimute da ré para a estação
AzVE = AzVR - beta  %Azimute da vante para a estação

disp('Resseçao a partir da ré');

X1 = XR + (q*d1*(sind(AzRE)))
Y1 = YR + (q*d1*(cosd(AzRE)))
Z1 = HR + HPR - (DIR*(cosd(VR))) - HI

disp('Resseção a partir da vante (controle)');

X2 = XV + (q*d2*(sind(AzVE)))
Y2 = YV + (q*d2*(cosd(AzVE)))
Z2 = HV + HPV - (DIV*(cosd(VV))) - HI

disp('Diferença de coordenadas');
```

```
difX = abs(X2-X1)
difY = abs(Y2-Y1)
difZ = abs(Z2-Z1)

disp('Coordenadas finais (Média das resseções de ré e de vante)');

X = (X1+X2)/2
Y = (Y1+Y2)/2
Z = (Z1+Z2)/2
```

Resultados Gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////
ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A RÉ - VÉRTICE E6
------------------------------------------------------------
E6 para E4
Série 1 Dados
E6_E4_1_H_PD =
     0     0     0
E6_E4_1_H_PI =
   179    59    57
E6_E4_1_V_PD =
    90    23     7
E6_E4_1_V_PI =
   269    37    11
E6_E4_1_DI_PD =
                    42.736
E6_E4_1_DI_PI =
                    42.735
Série 1 Resultados
E6_E4_1_Hd =
                         0                         0         -
1.49999999999864
E6_E4_1_Vd =
                        90                        22
58.0000000000427
E6_E4_1_DI =
                   42.7355
Série 2 Dados
E6_E4_2_H_PD =
   359    59    58
E6_E4_2_H_PI =
   179    59    56
E6_E4_2_V_PD =
    90    22    53
E6_E4_2_V_PI =
   269    37    14
```

```
E6_E4_2_DI_PD =
                    42.736
E6_E4_2_DI_PI =
                    42.733
Série 2 Resultados
E6_E4_2_Hd =
                       359                          59
57.0000000000027
E6_E4_2_Vd =
                        90                          22
49.4999999999823
E6_E4_2_DI =
                   42.7345
E6-E4 médias
E6_E4_Hd =
                         0                           0          -
2.25000000004911
E6_E4_Vd =
                        90                          22
53.7500000000125
E6_E4_DI =
                    42.735
----------------------------------------
E6 para CEERMA
Série 1 Dados
E6_CEERMA_1_H_PD =
   333    10     3
E6_CEERMA_1_H_PI =
   153     9    54
E6_CEERMA_1_V_PD =
    89    58    12
E6_CEERMA_1_V_PI =
   270     2     5
E6_CEERMA_1_DI_PD =
                    13.807
E6_CEERMA_1_DI_PI =
                    13.807
Série 1 Resultados
E6_CEERMA_1_Hd =
                       333                           9
58.4999999999673
E6_CEERMA_1_Vd =
                        89                          58
3.50000000003774
E6_CEERMA_1_DI =
                    13.807
Série 2 Dados
E6_CEERMA_2_H_PD =
   333    10     6
E6_CEERMA_2_H_PI =
   153     9    52
E6_CEERMA_2_V_PD =
    89    58     4
```

```
E6_CEERMA_2_V_PI =
   270     1    58
E6_CEERMA_2_DI_PD =
                    13.806
E6_CEERMA_2_DI_PI =
                    13.806
Série 2 Resultados
E6_CEERMA_2_Hd =
                       333                           9
59.0000000000009
E6_CEERMA_2_Vd =
                        89                          58
3.00000000000409
E6_CEERMA_2_DI =
                    13.806
E6-CEERMA médias
E6_CEERMA_Hd =
                       333                           9
58.7499999998818
E6_CEERMA_Vd =
                        89                          58
3.25000000002092
E6_CEERMA_DI =
                   13.8065
Cálculo das coordenadas por resseção
Dados iniciais
XV =
               149854.9743
YV =
               249609.8177
HV =
                   8.74747
HPV =
                     1.416
DIV =
                   13.8065
VV =
          89.9675694444445
XR =
               149886.0206
YR =
               249609.2875
HR =
                   8.45547
HPR =
                     1.416
DIR =
                    42.735
VR =
          90.3815972222222
HI =
                      1.44
alfa =
```

```
          333.166944444444
Distâncias horizontais
d1 =
          42.7340521988053
d2 =
          13.8064977883464
Azimute inicial
AzRV =
          270.978386138145
AzVR =
          90.9783861381447
Cálculo da base
Por coordenadas:
Dcoord =
          31.0508269733548
Por lei dos cossenos:
Dlc =
          31.0461091931367
Fator de escala
q =
          1.00015196043371
Ângulos internos
gama =
         -11.5783623296743
beta =
          -141.58858211477
Azimute dos lados
AzRE =
           259.40002380847
AzVE =
          232.566968252915
Resseçao a partir da ré
X1 =
          149844.009403145
Y1 =
          249601.425336279
Z1 =
          8.71608846353501
Resseção a partir da vante (controle)
X2 =
          149844.009386623
Y2 =
          249601.424369706
Z2 =
          8.71565524566426
Diferença de coordenadas
difX =
      1.65219244081527e-05
difY =
      0.000966573366895318
difZ =
      0.000433217870746461
Coordenadas finais (Média das resseções de ré e de vante)
```

```
X =
          149844.009394884
Y =
          249601.424852992
Z =
          8.71587185459964
>>
```

Exemplo de Algoritmo para o ponto virtual PV1:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A RÉ - PV1');
disp('-----------------------------------------------------------');

disp('PV1 para NIATE');
disp('Série 1 Dados');

PV1_NIATE_1_H_PD = [000 00 00]
PV1_NIATE_1_H_PD = dms2degrees(PV1_NIATE_1_H_PD);
PV1_NIATE_1_H_PI = [179 59 52]
PV1_NIATE_1_H_PI = dms2degrees(PV1_NIATE_1_H_PI);
PV1_NIATE_1_V_PD = [90 20 40]
PV1_NIATE_1_V_PD = dms2degrees(PV1_NIATE_1_V_PD);
PV1_NIATE_1_V_PI = [269 39 20]
PV1_NIATE_1_V_PI = dms2degrees(PV1_NIATE_1_V_PI);
PV1_NIATE_1_DI_PD = 66.697
PV1_NIATE_1_DI_PI = 66.697

disp('Série 1 Resultados');

PV1_NIATE_1_H = (PV1_NIATE_1_H_PD + PV1_NIATE_1_H_PI - 180)/2;
PV1_NIATE_1_Hd = degrees2dms(PV1_NIATE_1_H)
PV1_NIATE_1_V = (360 + PV1_NIATE_1_V_PD - PV1_NIATE_1_V_PI)/2;
PV1_NIATE_1_Vd = degrees2dms(PV1_NIATE_1_V)

PV1_NIATE_1_DI = (PV1_NIATE_1_DI_PD + PV1_NIATE_1_DI_PI)/2

disp('Série 2 Dados');

PV1_NIATE_2_H_PD = [359 59 57]
PV1_NIATE_2_H_PD = dms2degrees(PV1_NIATE_2_H_PD);
PV1_NIATE_2_H_PI = [179 59 52]
PV1_NIATE_2_H_PI = dms2degrees(PV1_NIATE_2_H_PI);
PV1_NIATE_2_V_PD = [090 20 40]
PV1_NIATE_2_V_PD = dms2degrees(PV1_NIATE_2_V_PD);
PV1_NIATE_2_V_PI = [269 39 18]
PV1_NIATE_2_V_PI = dms2degrees(PV1_NIATE_2_V_PI);
PV1_NIATE_2_DI_PD = 66.697
```

```
PV1_NIATE_2_DI_PI = 66.697

disp('Série 2 Resultados');

PV1_NIATE_2_H = (PV1_NIATE_2_H_PD + PV1_NIATE_2_H_PI + 180)/2;
PV1_NIATE_2_Hd = degrees2dms(PV1_NIATE_2_H)
PV1_NIATE_2_V = (360 + PV1_NIATE_2_V_PD - PV1_NIATE_2_V_PI)/2;
PV1_NIATE_2_Vd = degrees2dms(PV1_NIATE_2_V)

PV1_NIATE_2_DI = (PV1_NIATE_2_DI_PD + PV1_NIATE_2_DI_PI)/2

disp('PV1-NIATE médias');

PV1_NIATE_H = ((360 + PV1_NIATE_1_H + PV1_NIATE_2_H)/2) - 360;
PV1_NIATE_H = PV1_NIATE_H;
PV1_NIATE_Hd = degrees2dms(PV1_NIATE_H)
PV1_NIATE_V = (PV1_NIATE_1_V + PV1_NIATE_2_V)/2;
PV1_NIATE_Vd = degrees2dms(PV1_NIATE_V)
PV1_NIATE_DI = (PV1_NIATE_1_DI + PV1_NIATE_2_DI)/2

disp('----------------------------------------');

disp('PV1 para E9');
disp('Série 1 Dados');

PV1_E9_1_H_PD = [027 59 06]
PV1_E9_1_H_PD = dms2degrees(PV1_E9_1_H_PD);
PV1_E9_1_H_PI = [207 58 58]
PV1_E9_1_H_PI = dms2degrees(PV1_E9_1_H_PI);
PV1_E9_1_V_PD = [90 29 06]
PV1_E9_1_V_PD = dms2degrees(PV1_E9_1_V_PD);
PV1_E9_1_V_PI = [269 31 07]
PV1_E9_1_V_PI = dms2degrees(PV1_E9_1_V_PI);
PV1_E9_1_DI_PD = 21.169
PV1_E9_1_DI_PI = 21.169

disp('Série 1 Resultados');

PV1_E9_1_H = ((PV1_E9_1_H_PD + PV1_E9_1_H_PI + 180)/2)-180;
PV1_E9_1_Hd = degrees2dms(PV1_E9_1_H)
PV1_E9_1_V = (360 + PV1_E9_1_V_PD - PV1_E9_1_V_PI)/2;
PV1_E9_1_Vd = degrees2dms(PV1_E9_1_V)

PV1_E9_1_DI = (PV1_E9_1_DI_PD + PV1_E9_1_DI_PI)/2

disp('Série 2 Dados');

PV1_E9_2_H_PD = [027 59 12]
PV1_E9_2_H_PD = dms2degrees(PV1_E9_2_H_PD);
PV1_E9_2_H_PI = [207 58 59]
PV1_E9_2_H_PI = dms2degrees(PV1_E9_2_H_PI);
PV1_E9_2_V_PD = [090 28 52]
PV1_E9_2_V_PD = dms2degrees(PV1_E9_2_V_PD);
PV1_E9_2_V_PI = [269 31 14]
PV1_E9_2_V_PI = dms2degrees(PV1_E9_2_V_PI);
PV1_E9_2_DI_PD = 21.169
PV1_E9_2_DI_PI = 21.169

disp('Série 2 Resultados');
```

```
PV1_E9_2_H = ((PV1_E9_2_H_PD + PV1_E9_2_H_PI + 180)/2)-180;
PV1_E9_2_Hd = degrees2dms(PV1_E9_2_H)
PV1_E9_2_V = (360 + PV1_E9_2_V_PD - PV1_E9_2_V_PI)/2;
PV1_E9_2_Vd = degrees2dms(PV1_E9_2_V)

PV1_E9_2_DI = (PV1_E9_2_DI_PD + PV1_E9_2_DI_PI)/2

disp('PV1-E9 médias');

PV1_E9_H = (PV1_E9_1_H + PV1_E9_2_H)/2;
PV1_E9_Hd = degrees2dms(PV1_E9_H)
PV1_E9_V = (PV1_E9_1_V + PV1_E9_2_V)/2;
PV1_E9_Vd = degrees2dms(PV1_E9_V)
PV1_E9_DI = (PV1_E9_1_DI + PV1_E9_2_DI)/2

disp('Cálculo das coordenadas por resseção');

%Ré = NIATE
%Vante = E9

disp('Dados iniciais');


XV = 149838.761700000  %Coordenada X da vante
YV = 249549.150200000  %Coordenada Y da vante
HV = 8.52497000000000   %Coordenada Z da vante
HPV = 1.490  %Altura do prisma na vante
DIV = PV1_E9_DI   %Distância inclinada (media) para a vante
VV = PV1_E9_V   %Angulo Zenital (Media) para a vante
%VV = dms2degrees(VV)
XR = 149887.466700000  %Coordenada X da ré
YR = 249543.540500000  %Coordenada Y da ré
HR = 8.30747000000000   %Coordenada Z da ré
HPR = 1.490  %Altura do prisma na ré
DIR = PV1_NIATE_DI  %Distância inclinada (media) para a ré
VR = PV1_NIATE_V   %Angulo Zenital (Media) para a ré
%VR = dms2degrees(VR)
HI = 1.530  %Altura do instrumento na estação
alfa = (PV1_E9_H - PV1_NIATE_1_H)  %Ângulo na estação, lido horizontal
(média) da ré para vante
%alfa = dms2degrees(alfa)
%AzVR = [5 53 10.43] %Azimute inicial da vante para a ré
%AzVR = dms2degrees(AzVR)

disp('Distâncias horizontais');

d1 = DIR*sind(VR)  %Lado entre a ré e a estação
d2 = DIV*sind(VV)    %Lado entre a vante e a estação

disp('Azimute inicial');

deltaX = XV - XR;
deltaY = YV - YR;
teta = atand((abs(deltaY))/(abs(deltaX)));

%Azimute de ré pra vante
if (deltaX > 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 90 - teta
```

```
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 90 + teta
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 270 - teta
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 270 + teta
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY > 0)
    AzRV = 0
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY < 0)
    AzRV = 180
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY == 0)
    AzRV = 90
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY == 0)
    AzRV = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

%Azimute de vante pra ré (contra-azimute)
if (AzRV > 180)
    AzVR = AzRV - 180
    else
    AzVR = AzRV + 180
end

disp('Cálculo da base');

disp('Por coordenadas:');

Dcoord = sqrt(((XR-XV)^2)+((YR-YV)^2))

disp('Por lei dos cossenos:');

Dlc = sqrt((d1^2)+(d2^2)-(2*d1*d2*(cosd(alfa))))

disp('Fator de escala');

q = Dcoord/Dlc

disp('Ângulos internos');

gama = asind(((sind(alfa))*d2)/Dcoord)  %Ângulo na ré
beta = 180 - (alfa + gama)      %Ângulo na vante

disp('Azimute dos lados');

AzRE = AzRV + gama  %Azimute da ré para a estação
AzVE = AzVR - beta  %Azimute da vante para a estação

disp('Resseçao a partir da ré');

X1 = XR + (q*d1*(sind(AzRE)))
Y1 = YR + (q*d1*(cosd(AzRE)))
Z1 = HR + HPR - (DIR*(cosd(VR))) - HI

disp('Resseção a partir da vante (controle)');

X2 = XV + (q*d2*(sind(AzVE)))
```

```
Y2 = YV + (q*d2*(cosd(AzVE)))
Z2 = HV + HPV - (DIV*(cosd(VV))) - HI

disp('Diferença de coordenadas');

difX = abs(X2-X1)
difY = abs(Y2-Y1)
difZ = abs(Z2-Z1)

disp('Coordenadas finais (Média das resseções de ré e de vante)');

X = (X1+X2)/2
Y = (Y1+Y2)/2
Z = (Z1+Z2)/2
```

Resultados gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////
ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A RÉ - PV1
------------------------------------------------------------
PV1 para NIATE
Série 1 Dados
PV1_NIATE_1_H_PD =
     0     0     0
PV1_NIATE_1_H_PI =
   179    59    52
PV1_NIATE_1_V_PD =
    90    20    40
PV1_NIATE_1_V_PI =
   269    39    20
PV1_NIATE_1_DI_PD =
                    66.697
PV1_NIATE_1_DI_PI =
                    66.697
Série 1 Resultados
PV1_NIATE_1_Hd =
                         0                         0         -
4.00000000001342
PV1_NIATE_1_Vd =
                        90                        20
39.9999999999636
PV1_NIATE_1_DI =
                    66.697
Série 2 Dados
PV1_NIATE_2_H_PD =
   359    59    57
```

```
PV1_NIATE_2_H_PI =
   179    59    52
PV1_NIATE_2_V_PD =
    90    20    40
PV1_NIATE_2_V_PI =
   269    39    18
PV1_NIATE_2_DI_PD =
                    66.697
PV1_NIATE_2_DI_PI =
                    66.697
Série 2 Resultados
PV1_NIATE_2_Hd =
                       359                          59
54.5000000000391
PV1_NIATE_2_Vd =
                        90                          20
41.0000000000309
PV1_NIATE_2_DI =
                    66.697
PV1-NIATE médias
PV1_NIATE_Hd =
                         0                           0         -
4.75000000001273
PV1_NIATE_Vd =
                        90                          20
40.4999999999973
PV1_NIATE_DI =
                    66.697
----------------------------------------
PV1 para E9
Série 1 Dados
PV1_E9_1_H_PD =
    27    59     6
PV1_E9_1_H_PI =
   207    58    58
PV1_E9_1_V_PD =
    90    29     6
PV1_E9_1_V_PI =
   269    31     7
PV1_E9_1_DI_PD =
                    21.169
PV1_E9_1_DI_PI =
                    21.169
Série 1 Resultados
PV1_E9_1_Hd =
                        27                          59
1.99999999998454
PV1_E9_1_Vd =
                        90                          28
59.5000000000209
PV1_E9_1_DI =
                    21.169
Série 2 Dados
```

```
PV1_E9_2_H_PD =
    27    59    12
PV1_E9_2_H_PI =
   207    58    59
PV1_E9_2_V_PD =
    90    28    52
PV1_E9_2_V_PI =
   269    31    14
PV1_E9_2_DI_PD =
                    21.169
PV1_E9_2_DI_PI =
                    21.169
Série 2 Resultados
PV1_E9_2_Hd =
                        27                          59
5.50000000001546
PV1_E9_2_Vd =
                        90                          28
48.9999999999282
PV1_E9_2_DI =
                    21.169
PV1-E9 médias
PV1_E9_Hd =
                        27                          59
3.75
PV1_E9_Vd =
                        90                          28
54.2499999999745
PV1_E9_DI =
                    21.169
Cálculo das coordenadas por resseção
Dados iniciais
XV =
              149838.7617
YV =
              249549.1502
HV =
                  8.52497
HPV =
                     1.49
DIV =
                    21.169
VV =
         90.4817361111111
XR =
              149887.4667
YR =
              249543.5405
HR =
                  8.30747
HPR =
                     1.49
DIR =
```

```
                    66.697
VR =
          90.3445833333333
HI =
                      1.53
alfa =
          27.9854861111111
Distâncias horizontais
d1 =
          66.6957938029384
d2 =
          21.1682517599872
Azimute inicial
AzRV =
          276.570210077103
AzVR =
          96.5702100771027
Cálculo da base
Por coordenadas:
Dcoord =
           49.026990108396
Por lei dos cossenos:
Dlc =
          49.0197750633583
Fator de escala
q =
          1.00014718641667
Ângulos internos
gama =
          11.6893863552244
beta =
          140.325127533664
Azimute dos lados
AzRE =
          288.259596432327
AzVE =
         -43.7549174565617
Resseçao a partir da ré
X1 =
          149824.119939683
Y1 =
          249564.440893104
Z1 =
           8.6685909243219
Resseção a partir da vante (controle)
X2 =
           149824.12011049
Y2 =
          249564.442376296
Z2 =
          8.66295434144854
Diferença de coordenadas
difX =
```

```
      0.000170806830283254
difY =
       0.00148319182335399
difZ =
       0.00563658287336644
Coordenadas finais (Média das resseções de ré e de vante)
X =
          149824.120025086
Y =
            249564.4416347
Z =
          8.66577263288522
>>
```

APÊNDICE F – ALGORITMO EM MATLAB PARA A INTERSEÇÃO A VANTE

Exemplo de algoritmo para o ponto TOPO3:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - TOPO3');
disp('-----------------------------------------------------------');

%Coordenadas dos pontos conhecidos

XPV1 = 149824.120025086
YPV1 = 249564.441634700
ZPV1 = 8.66577263288522
XNIATE = 149887.466700000
YNIATE = 249543.540500000
ZNIATE = 8.30747000000000
XE9 = 149838.761700000
YE9 = 249549.150200000
ZE9 = 8.52497000000000

%Cálculo dos azimutes

deltaX1 =  XPV1 - XNIATE;
deltaY1 = YPV1 - YNIATE;
teta = atand((abs(deltaY1))/(abs(deltaX1)));

if (deltaX1 > 0) & (deltaY1 > 0)
    AzNP1 = 90 - teta
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 < 0)
    AzNP1 = 90 + teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 < 0)
    AzNP1 = 270 - teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 > 0)
    AzNP1 = 270 + teta
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 > 0)
    AzNP1 = 0
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 < 0)
    AzNP1 = 180
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 == 0)
    AzNP1 = 90
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 == 0)
    AzNP1 = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzNP1 > 180)
    AzP1N = AzNP1 - 180
```

```
    else
    AzP1N = AzNP1 + 180
end

deltaX2 = XNIATE - XE9;
deltaY2 = YNIATE - YE9;
teta = atand((abs(deltaY2))/(abs(deltaX2)));

if (deltaX2 > 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE9N = 90 - teta
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE9N = 90 + teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE9N = 270 - teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE9N = 270 + teta
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE9N = 0
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE9N = 180
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 == 0)
    AzE9N = 90
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 == 0)
    AzE9N = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzE9N > 180)
    AzNE9 = AzE9N - 180
    else
    AzNE9 = AzE9N + 180
end

%Cálculo da base

Dcoord = sqrt(((XPV1-XNIATE)^2)+((YPV1-YNIATE)^2))

%Medições

HzP1 = [336 42 18]
HzP1 = dms2degrees(HzP1);
HzN = [18 40 45];
HzN = dms2degrees(HzN);
VP1 = [50 47 36]
VP1 = dms2degrees(VP1);
HIP1 = 1.530
VN = [75 27 38]
VN = dms2degrees(VN);
HIN = 1.432

%Cálculo dos ângulos internos

alfa = 360 - HzP1;
alfa_d = degrees2dms(alfa)
beta = HzN - (AzNP1-AzNE9);
beta_d = degrees2dms(beta)
gama = 180 - (alfa + beta);
gama_d = degrees2dms(gama)
```

```
%Cálculo das distâncias

DP1T3 = (Dcoord*(sind(beta)))/(sind(gama))
DNT3 = (Dcoord*(sind(alfa)))/(sind(gama))

%Cálculo dos azimutes dos pontos conhecidos até o ponto desconhecido

AzNT3 = AzNE9 + HzN
AzP1T3 = AzP1N - alfa

%Cálculo das coordenadas planialtimétricas

disp('Coordenadas a partir de PV1');

X1 = XPV1 + (DP1T3*(sind(AzP1T3)))
Y1 = YPV1 + (DP1T3*(cosd(AzP1T3)))
Z1 = ZPV1 + (DP1T3/(tand(VP1))) + HIP1

disp('Coordenadas a partir de NIATE');

X2 = XNIATE + (DNT3*(sind(AzNT3)))
Y2 = YNIATE + (DNT3*(cosd(AzNT3)))
Z2 = ZNIATE + (DNT3/(tand(VN))) + HIN

disp('Média da altura:');

Z = (Z1 + Z2)/2

%Controle

disp('Diferença de coordenadas (controle)');

difX = abs(X2-X1)
difY = abs(Y2-Y1)
difZ = abs(Z2-Z1)
```

Resultados gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////
ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - TOPO3
-----------------------------------------------------
XPV1 =
          149824.120025086
YPV1 =
            249564.4416347
ZPV1 =
          8.66577263288522
XNIATE =
```

```
              149887.4667
YNIATE =
              249543.5405
ZNIATE =
                  8.30747
XE9 =
              149838.7617
YE9 =
              249549.1502
ZE9 =
                  8.52497
AzNP1 =
          288.260224323571
AzP1N =
          108.260224323571
AzE9N =
          96.5702100771027
AzNE9 =
          276.570210077103
Dcoord =
           66.705761778157
HzP1 =
   336    42    18
VP1 =
    50    47    36
HIP1 =
                    1.53
VN =
    75    27    38
HIN =
                   1.432
alfa_d =
                      23                      17
42.0000000000573
beta_d =
                       6                      59
20.9487127145002
gama_d =
                     149                      42
57.0512872854169
DP1T3 =
          16.0956426405149
DNT3 =
          52.3109332312338
AzNT3 =
          295.249376743769
AzP1T3 =
          84.9652243235709
Coordenadas a partir de PV1
X1 =
          149840.153564547
Y1 =
          249565.854194207
```

```
Z1 =
          23.3261772977389
Coordenadas a partir de NIATE
X2 =
          149840.153564547
Y2 =
          249565.854194207
Z2 =
          23.3064253745824
Média da altura:
Z =
          23.3163013361606
Diferença de coordenadas (controle)
difX =
     0
difY =
     0
difZ =
        0.0197519231565799
>>
```

Exemplo de algoritmo para o ponto EM3:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - EM3');
disp('-----------------------------------------------------------');

%Coordenadas dos pontos conhecidos

XP1 = 149824.120025086
YP1 = 249564.441634700
ZP1 = 8.66577263288522
XP3 = 149828.376338920
YP3 = 249604.773069349
ZP3 = 8.77769603593748
XN = 149887.466700000
YN = 249543.540500000
ZN = 8.30747000000000
XE6 = 149844.009394884
YE6 = 249601.424852992
ZE6 = 8.71587185459964

%Cálculo dos azimutes

deltaX1 =  XP3 - XP1;
deltaY1 = YP3 - YP1;
```

```
teta = atand((abs(deltaY1))/(abs(deltaX1)));

if (deltaX1 > 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP1P3 = 90 - teta
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 < 0)
    AzP1P3 = 90 + teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 < 0)
    AzP1P3 = 270 - teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP1P3 = 270 + teta
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP1P3 = 0
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 < 0)
    AzP1P3 = 180
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 == 0)
    AzP1P3 = 90
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 == 0)
    AzP1P3 = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzP1P3 > 180)
    AzP3P1 = AzP1P3 - 180
    else
    AzP3P1 = AzP1P3 + 180
end

deltaX2 = XN - XP1;
deltaY2 = YN - YP1;
teta = atand((abs(deltaY2))/(abs(deltaX2)));

if (deltaX2 > 0) & (deltaY2 > 0)
    AzP1N = 90 - teta
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 < 0)
    AzP1N = 90 + teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 < 0)
    AzP1N = 270 - teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 > 0)
    AzP1N = 270 + teta
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 > 0)
    AzP1N = 0
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 < 0)
    AzP1N = 180
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 == 0)
    AzP1N = 90
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 == 0)
    AzP1N = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzP1N > 180)
    AzNP1 = AzP1N - 180
    else
    AzNP1 = AzP1N + 180
end

deltaX3 = XE6 - XP3;
deltaY3 = YE6 - YP3;
```

```
teta = atand((abs(deltaY3))/(abs(deltaX3)));

if (deltaX3 > 0) & (deltaY3 > 0)
    AzP3E6 = 90 - teta
    elseif (deltaX3 > 0) & (deltaY3 < 0)
    AzP3E6 = 90 + teta
    elseif (deltaX3 < 0) & (deltaY3 < 0)
    AzP3E6 = 270 - teta
    elseif (deltaX3 < 0) & (deltaY3 > 0)
    AzP3E6 = 270 + teta
    elseif (deltaX3 == 0) & (deltaY3 > 0)
    AzP3E6 = 0
    elseif (deltaX3 == 0) & (deltaY3 < 0)
    AzP3E6 = 180
    elseif (deltaX3 > 0) & (deltaY3 == 0)
    AzP3E6 = 90
    elseif (deltaX3 < 0) & (deltaY3 == 0)
    AzP3E6 = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzP3E6 > 180)
    AzE6P3 = AzP3E6 - 180
    else
    AzE6P3 = AzP3E6 + 180
end

%Cálculo da base

Dcoord = sqrt(((XP1-XP3)^2)+((YP1-YP3)^2))

%Medições

HzP1EEM3 = [283 35 10]
HzP1EEM3 = dms2degrees(HzP1EEM3);
HzP3EEM3 = [59 49 10];
HzP3EEM3 = dms2degrees(HzP3EEM3);
VP1 = [84 59 29]
VP1 = dms2degrees(VP1);
HIP1 = 1.530
VP3 = [85 34 20]
VP3 = dms2degrees(VP3);
HIP3 = 1.572

%Cálculo dos ângulos internos

alfa = HzP1EEM3 - (360-AzP1N) - AzP1P3;
alfa_d = degrees2dms(alfa)
beta = AzP3P1 - HzP3EEM3 - AzP3E6;
beta_d = degrees2dms(beta)
gama = 180 - (alfa + beta);
gama_d = degrees2dms(gama)

%Cálculo das distâncias

DP1EEM3 = (Dcoord*(sind(beta)))/(sind(gama))
DP3EEM3 = (Dcoord*(sind(alfa)))/(sind(gama))
```

```
%Cálculo dos azimutes dos pontos conhecidos até o ponto desconhecido

AzP1EEM3 = AzP1P3 + alfa
AzP3EEM3 = AzP3P1 - beta



%Cálculo das coordenadas planialtimétricas

disp('Coordenadas a partir de PV1');

X1 = XP1 + (DP1EEM3*(sind(AzP1EEM3)))
Y1 = YP1 + (DP1EEM3*(cosd(AzP1EEM3)))
Z1 = ZP1 + (DP1EEM3/(tand(VP1))) + HIP1

disp('Coordenadas a partir de PV3');

X2 = XP3 + (DP3EEM3*(sind(AzP3EEM3)))
Y2 = YP3 + (DP3EEM3*(cosd(AzP3EEM3)))
Z2 = ZP3 + (DP3EEM3/(tand(VP3))) + HIP1

%Controle

disp('Diferença de coordenadas (controle)');

difX = abs(X2-X1)
difY = abs(Y2-Y1)
difZ = abs(Z2-Z1)
```

Resultados Gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////
ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - EM3
--------------------------------------------------------
XP1 =
          149824.120025086
YP1 =
            249564.4416347
ZP1 =
          8.66577263288522
XP3 =
           149828.37633892
YP3 =
          249604.773069349
ZP3 =
          8.77769603593748
XN =
               149887.4667
YN =
```

```
               249543.5405
ZN =
                   8.30747
XE6 =
          149844.009394884
YE6 =
          249601.424852992
ZE6 =
          8.71587185459964
AzP1P3 =
          6.02432014770427
AzP3P1 =
          186.024320147704
AzP1N =
          108.260224323571
AzNP1 =
          288.260224323571
AzP3E6 =
          102.088715085603
AzE6P3 =
          282.088715085603
Dcoord =
          40.5554044277777
HzP1EEM3 =
   283    35    10
VP1 =
    84    59    29
HIP1 =
                      1.53
VP3 =
    85    34    20
HIP3 =
                     1.572
alfa_d =
                        25                        49
19.2550331198311
beta_d =
                        24                         6
58.1782235632113
gama_d =
                       130                         3
42.5667433169065
DP1EEM3 =
          21.6507993614432
DP3EEM3 =
          23.0809331561896
AzP1EEM3 =
           31.846335434682
AzP3EEM3 =
          161.908159530048
Coordenadas a partir de PV1
X1 =
          149835.543916435
```

```
Y1 =
          249582.833258321
Z1 =
          12.0932510301608
Coordenadas a partir de PV3
X2 =
          149835.543916435
Y2 =
          249582.833258321
Z2 =
          12.0949336768755
Diferença de coordenadas (controle)
difX =
     0
difY =
     0
difZ =
       0.00168264671474816
>>
```

Exemplo de algoritmo para o ponto CF1:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - CF1');
disp('-------------------------------------------------------');

%Coordenadas dos pontos conhecidos

XP3 = 149828.376338920
YP3 = 249604.773069349
ZP3 = 8.77769603593748
XE6 = 149844.009394884
YE6 = 249601.424852992
ZE6 = 8.71587185459964
XE7 = 149837.299824840
YE7 = 249598.225368998

%Cálculo dos azimutes

deltaX1 =  XE6 - XP3;
deltaY1 = YE6 - YP3;
teta = atand((abs(deltaY1))/(abs(deltaX1)));

if (deltaX1 > 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP3E6 = 90 - teta
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 < 0)
```

```
    AzP3E6 = 90 + teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 < 0)
    AzP3E6 = 270 - teta
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP3E6 = 270 + teta
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 > 0)
    AzP3E6 = 0
    elseif (deltaX1 == 0) & (deltaY1 < 0)
    AzP3E6 = 180
    elseif (deltaX1 > 0) & (deltaY1 == 0)
    AzP3E6 = 90
    elseif (deltaX1 < 0) & (deltaY1 == 0)
    AzP3E6 = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzP3E6 > 180)
    AzE6P3 = AzP3E6 - 180
    else
    AzE6P3 = AzP3E6 + 180
end

deltaX2 = XE7 - XE6;
deltaY2 = YE7 - YE6;
teta = atand((abs(deltaY2))/(abs(deltaX2)));

if (deltaX2 > 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE6E7 = 90 - teta
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE6E7 = 90 + teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE6E7 = 270 - teta
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE6E7 = 270 + teta
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 > 0)
    AzE6E7 = 0
    elseif (deltaX2 == 0) & (deltaY2 < 0)
    AzE6E7 = 180
    elseif (deltaX2 > 0) & (deltaY2 == 0)
    AzE6E7 = 90
    elseif (deltaX2 < 0) & (deltaY2 == 0)
    AzE6E7 = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

if (AzE6E7 > 180)
    AzE7E6 = AzE6E7 - 180
    else
    AzE7E6 = AzE6E7 + 180
end

%Cálculo da base

Dcoord = sqrt(((XE6-XP3)^2)+((YE6-YP3)^2))

%Medições

HzP3CF1 = [20 09 49]
```

```
HzP3CF1 = dms2degrees(HzP3CF1);
HzE6CF1 = [322 53 50];
HzE6CF1 = dms2degrees(HzE6CF1);
VP3 = [86 31 59]
VP3 = dms2degrees(VP3);
HIP2 = 1.522
VE6 = [79 04 43]
VE6 = dms2degrees(VE6);
HIE6 = 1.448

%Cálculo dos ângulos internos

alfa = HzP3CF1;
alfa_d = degrees2dms(alfa)
beta = (360 - HzE6CF1) + (AzE6P3 - AzE6E7);
beta_d = degrees2dms(beta)
gama = 180 - (alfa + beta);
gama_d = degrees2dms(gama)

%Cálculo das distâncias

DP3CF1 = (Dcoord*(sind(beta)))/(sind(gama))
DE6CF1 = (Dcoord*(sind(alfa)))/(sind(gama))

%Cálculo dos azimutes dos pontos conhecidos até o ponto desconhecido

AzP2CF1 = AzP3E6 + alfa
AzP3CF1 = AzE6P3 - beta



%Cálculo das coordenadas planialtimétricas

disp('Coordenadas a partir de PV3');

X1 = XP3 + (DP3CF1*(sind(AzP2CF1)))
Y1 = YP3 + (DP3CF1*(cosd(AzP2CF1)))
Z1 = ZP3 + (DP3CF1/(tand(VP3))) + HIP2

disp('Coordenadas a partir de E6');

X2 = XE6 + (DE6CF1*(sind(AzP3CF1)))
Y2 = YE6 + (DE6CF1*(cosd(AzP3CF1)))
Z2 = ZE6 + (DE6CF1/(tand(VE6))) + HIE6

%Controle

disp('Diferença de coordenadas (controle)');

difX = abs(X2-X1)
difY = abs(Y2-Y1)

difZ = abs(Z2-Z1)
```

Resultados gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////
ALGORITMO PARA CÁLCULO DA INTERSEÇÃO A VANTE - CF1
------------------------------------------------------
XP3 =
           149828.37633892
YP3 =
          249604.773069349
ZP3 =
          8.77769603593748
XE6 =
          149844.009394884
YE6 =
          249601.424852992
ZE6 =
          8.71587185459964
XE7 =
           149837.29982484
YE7 =
          249598.225368998
AzP3E6 =
          102.088715085603
AzE6P3 =
          282.088715085603
AzE6E7 =
          244.505682182032
AzE7E6 =
          64.5056821820317
Dcoord =
          15.9875886720459
HzP3CF1 =
    20     9    49
VP3 =
    86    31    59
HIP2 =
                    1.522
VE6 =
    79     4    43
HIE6 =
                    1.448
alfa_d =
                       20                        9
49.0000000000057
beta_d =
                       74                       41
8.91845285797444
```

```
gama_d =
                        85                          9
2.0815471420326
DP3CF1 =
           15.475298790798
DE6CF1 =
          5.53075356167316
AzP2CF1 =
          122.252326196714
AzP3CF1 =
          207.402904404254
Coordenadas a partir de PV3
X1 =
          149841.463894379
Y1 =
          249596.514693917
Z1 =
          11.2372446363208
Coordenadas a partir de E6
X2 =
          149841.463894379
Y2 =
          249596.514693917
Z2 =
          11.2310685020542
Diferença de coordenadas (controle)
difX =
     0
difY =
     0
difZ =
       0.00617613426654451
>>
```

APÊNDICE G - ALGORITMOS E RESULTADOS EM MATLAB PARA A IRRADIAÇÃO 3D

Exemplo de algoritmo para os pontos MF1, MF2 e MF3:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA AS IRRADIAÇÕES A PARTIR DE E11');
disp('-----------------------------------------------------------');

disp('E11 para NIATE - Azimute de referência');
disp('Coordenadas E11 (estação):');

XE = 149897.788763266 %Coordenada X da estação
YE = 249560.652216108 %Coordenada Y da estação
ZE = 8.32564483969308 %Coordenada Z da estação
HI = 1.592 %Altura do instrumento na estação

disp('Coordenadas NIATE (Referência):');

XRef = 149887.4667 %Coordenada X da estação
YRef = 249543.5405 %Coordenada Y da estação

disp('Azimute de referência E11-NIATE:');

AzRef = 180 + (atand((XE-XRef)/(YE-YRef)))

disp('Altura do prisma:');
HS = 1.490

disp('Série 1 Dados');

E11_NIATE_1_H_PD = [000 00 00]
E11_NIATE_1_H_PD = dms2degrees(E11_NIATE_1_H_PD);
E11_NIATE_1_H_PI = [179 59 56]
E11_NIATE_1_H_PI = dms2degrees(E11_NIATE_1_H_PI);

disp('Série 1 Resultados');

E11_NIATE_1_H = (E11_NIATE_1_H_PD + E11_NIATE_1_H_PI - 180)/2;
E11_NIATE_1_Hd = degrees2dms(E11_NIATE_1_H)

disp('Série 2 Dados');

E11_NIATE_2_H_PD = [000 00 04]
E11_NIATE_2_H_PD = dms2degrees(E11_NIATE_2_H_PD);
E11_NIATE_2_H_PI = [179 59 57]
```

```
E11_NIATE_2_H_PI = dms2degrees(E11_NIATE_2_H_PI);

disp('Série 2 Resultados');

E11_NIATE_2_H = 180 - ((E11_NIATE_2_H_PD + E11_NIATE_2_H_PI + 180)/2);
E11_NIATE_2_Hd = degrees2dms(E11_NIATE_2_H)

disp('E11-NIATE médias');

E11_NIATE_H = ((360 + E11_NIATE_1_H + E11_NIATE_2_H)/2) - 180;
E11_NIATE_H = E11_NIATE_H;
E11_NIATE_Hd = degrees2dms(E11_NIATE_H)

disp('-----------------------------------------');

disp('MF01');

E11_MF01_H = [002 45 21]
E11_MF01_H = dms2degrees(E11_MF01_H);
E11_MF01_V = [090 23 42]
E11_MF01_V = dms2degrees(E11_MF01_V);
E11_MF01_DI = 22.293

E11_MF01_Az = AzRef + (E11_MF01_H - E11_NIATE_H)
MF01_DH = E11_MF01_DI*(sind(E11_MF01_V))
MF01_DV = E11_MF01_DI*(cosd(E11_MF01_V))

X_MF01 = XE + (MF01_DH*(sind(E11_MF01_Az)))
Y_MF01 = YE + (MF01_DH*(cosd(E11_MF01_Az)))
Z_MF01 = ZE - HS + MF01_DV + HI

disp('-----------------------------------------');

disp('MF02');

E11_MF02_H = [359 57 35]
E11_MF02_H = dms2degrees(E11_MF02_H);
E11_MF02_V = [090 21 54]
E11_MF02_V = dms2degrees(E11_MF02_V);
E11_MF02_DI = 20.991

E11_MF02_Az = AzRef + (E11_MF02_H - E11_NIATE_H)
MF02_DH = E11_MF02_DI*(sind(E11_MF02_V))
MF02_DV = E11_MF02_DI*(cosd(E11_MF02_V))

X_MF02 = XE + (MF02_DH*(sind(E11_MF02_Az)))
Y_MF02 = YE + (MF02_DH*(cosd(E11_MF02_Az)))
Z_MF02 = ZE - HS + MF02_DV + HI

disp('-----------------------------------------');

disp('MF03');

E11_MF03_H = [000 03 31]
E11_MF03_H = dms2degrees(E11_MF03_H);
E11_MF03_V = [090 20 28]
E11_MF03_V = dms2degrees(E11_MF03_V);
E11_MF03_DI = 19.663
```

```
E11_MF03_Az = AzRef + (E11_MF03_H - E11_NIATE_H)
MF03_DH = E11_MF03_DI*(sind(E11_MF03_V))
MF03_DV = E11_MF03_DI*(cosd(E11_MF03_V))

X_MF03 = XE + (MF03_DH*(sind(E11_MF03_Az)))
Y_MF03 = YE + (MF03_DH*(cosd(E11_MF03_Az)))
Z_MF03 = ZE - HS + MF03_DV + HI
```

Resultados gerados:

```
////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////

ALGORITMO PARA AS IRRADIAÇÕES A PARTIR DE E11
------------------------------------------------------------

E11 para NIATE - Azimute de referência

Coordenadas E11 (estação):
XE =      149897.788763266
YE =      249560.652216108
ZE =      8.32564483969308
HI =      1.592

Coordenadas NIATE (Referência):
XRef =    149887.4667
YRef =    249543.5405

Azimute de referência E11-NIATE:
AzRef =   211.099057687814

Altura do prisma:
HS =      1.49

Série 1 Dados
E11_NIATE_1_H_PD =   0     0     0
E11_NIATE_1_H_PI = 179    59    56

Série 1 Resultados
E11_NIATE_1_Hd =     0                         0         -1.99999999998113

Série 2 Dados
E11_NIATE_2_H_PD =   0     0     4
E11_NIATE_2_H_PI =   179    59    57
Série 2 Resultados
E11_NIATE_2_Hd =     0                         0        -0.500000000033651
E11-NIATE médias
E11_NIATE_Hd =       0                         0         -1.24999999998181
```

```
----------------------------------------
MF01
E11_MF01_H =     2    45    21
E11_MF01_V =    90    23    42
E11_MF01_DI =   22.293
E11_MF01_Az =   213.855238243369
MF01_DH =       22.2924702319939
MF01_DV =      -0.153687851390369
X_MF01 =        149885.369706123
Y_MF01 =        249542.139484037
Z_MF01 =        8.27395698830271
----------------------------------------
MF02
E11_MF02_H =   359    57    35
E11_MF02_V =    90    21    54
E11_MF02_DI =   20.991
E11_MF02_Az =   571.059127132258
MF02_DH =       20.990574066177
MF02_DV =      -0.133721248634586
X_MF02 =        149886.959256639
Y_MF02 =        249542.670948471
Z_MF02 =        8.29392359105849
----------------------------------------
MF03
E11_MF03_H =    0     3    31
E11_MF03_V =    90    20    28
E11_MF03_DI =   19.663
E11_MF03_Az =   211.158016021147
MF03_DH =       19.6626515303429
MF03_DV =      -0.117063214994897
X_MF03 =        149887.615305501
Y_MF03 =        249543.826027523
Z_MF03 =        8.31058162469818
```

Exemplo de algoritmo para CL1 e CL2:

```
clc,clear
format longg

disp('////////////////////////////////////////////////');
disp('//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //');
disp('//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //');
disp('// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //');
disp('//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //');
disp('//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //');
disp('////////////////////////////////////////////////');

disp('ALGORITMO PARA AS IRRADIAÇÕES A PARTIR DE NIATE');
disp('-----------------------------------------------------------');

disp('NIATE para E9 - Azimute de referência');
disp('Coordenadas NIATE (estação):');

XE = 149887.4667 %Coordenada X da estação
```

```
YE = 249543.5405 %Coordenada Y da estação
ZE = 8.30747 %Coordenada Z da estação
HI = 1.432 %Altura do instrumento na estação

disp('Coordenadas E9 (Referência):');

XRef = 149838.7617 %Coordenada X da estação
YRef = 249549.1502 %Coordenada Y da estação

disp('Azimute de referência NIATE-E9:');

deltaX = XRef - XE;
deltaY = YRef - YE;
teta = atand((abs(deltaY))/(abs(deltaX)));

%Azimute da estação para a referência
if (deltaX > 0) & (deltaY > 0)
    AzRef = 90 - teta;
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY < 0)
    AzRef = 90 + teta
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY < 0)
    AzRef = 270 - teta
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY > 0)
    AzRef = 270 + teta
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY > 0)
    AzRef = 0
    elseif (deltaX == 0) & (deltaY < 0)
    AzRef = 180
    elseif (deltaX > 0) & (deltaY == 0)
    AzRef = 90
    elseif (deltaX < 0) & (deltaY == 0)
    AzRef = 270
    else
    disp('Erro: pontos coincidentes');
end

disp('Altura do prisma:');
HS = 1.490

disp('Série 1 Dados');

NIATE_E9_1_H_PD = [000 00 00]
NIATE_E9_1_H_PD = dms2degrees(NIATE_E9_1_H_PD);
NIATE_E9_1_H_PI = [179 59 57]
NIATE_E9_1_H_PI = dms2degrees(NIATE_E9_1_H_PI);

disp('Série 1 Resultados');

NIATE_E9_1_H = (NIATE_E9_1_H_PD + NIATE_E9_1_H_PI - 180)/2;
NIATE_E9_1_Hd = degrees2dms(NIATE_E9_1_H)

disp('Série 2 Dados');

NIATE_E9_2_H_PD = [359 59 59]
NIATE_E9_2_H_PD = dms2degrees(NIATE_E9_2_H_PD);
NIATE_E9_2_H_PI = [179 59 55]
NIATE_E9_2_H_PI = dms2degrees(NIATE_E9_2_H_PI);

disp('Série 2 Resultados');
```

```
NIATE_E9_2_H = ((NIATE_E9_2_H_PD + NIATE_E9_2_H_PI + 180)/2) - 360;
NIATE_E9_2_Hd = degrees2dms(NIATE_E9_2_H)

disp('NIATE-E9 médias');

NIATE_E9_H = ((360 + NIATE_E9_1_H + NIATE_E9_2_H)/2) - 180;
NIATE_E9_H = NIATE_E9_H;
NIATE_E9_Hd = degrees2dms(NIATE_E9_H)

disp('-----------------------------------------');

disp('CL01');

NIATE_CL01_H = [359 53 06]
NIATE_CL01_H = dms2degrees(NIATE_CL01_H);
NIATE_CL01_V = [089 44 12]
NIATE_CL01_V = dms2degrees(NIATE_CL01_V);
NIATE_CL01_DI = 61.031

NIATE_CL01_Az = AzRef + (NIATE_CL01_H - NIATE_E9_H)
CL01_DH = NIATE_CL01_DI*(sind(NIATE_CL01_V))
CL01_DV = NIATE_CL01_DI*(cosd(NIATE_CL01_V))

X_CL01 = XE + (CL01_DH*(sind(NIATE_CL01_Az)))
Y_CL01 = YE + (CL01_DH*(cosd(NIATE_CL01_Az)))
Z_CL01 = ZE - HS + CL01_DV + HI

disp('-----------------------------------------');

disp('CL02 IC');

NIATE_CL02_IC_H = [000 46 12]
NIATE_CL02_IC_H = dms2degrees(NIATE_CL02_IC_H);
NIATE_CL02_IC_V = [089 20 14]
NIATE_CL02_IC_V = dms2degrees(NIATE_CL02_IC_V);
NIATE_CL02_IC_DI = 19.277

NIATE_CL02_IC_Az = AzRef + (NIATE_CL02_IC_H - NIATE_E9_H)
CL02_IC_DH = NIATE_CL02_IC_DI*(sind(NIATE_CL02_IC_V))
CL02_IC_DV = NIATE_CL02_IC_DI*(cosd(NIATE_CL02_IC_V))

X_CL02_IC = XE + (CL02_IC_DH*(sind(NIATE_CL02_IC_Az)))
Y_CL02_IC = YE + (CL02_IC_DH*(cosd(NIATE_CL02_IC_Az)))
Z_CL02_IC = ZE - HS + CL02_IC_DV + HI

disp('-----------------------------------------');

disp('CL02 MC');

NIATE_CL02_MC_H = [001 36 18]
NIATE_CL02_MC_H = dms2degrees(NIATE_CL02_MC_H);
NIATE_CL02_MC_V = [089 20 29]
NIATE_CL02_MC_V = dms2degrees(NIATE_CL02_MC_V);
NIATE_CL02_MC_DI = 18.547

NIATE_CL02_MC_Az = AzRef + (NIATE_CL02_MC_H - NIATE_E9_H)
CL02_MC_DH = NIATE_CL02_MC_DI*(sind(NIATE_CL02_MC_V))
```

```
CL02_MC_DV = NIATE_CL02_MC_DI*(cosd(NIATE_CL02_MC_V))

X_CL02_MC = XE + (CL02_MC_DH*(sind(NIATE_CL02_MC_Az)))
Y_CL02_MC = YE + (CL02_MC_DH*(cosd(NIATE_CL02_MC_Az)))
Z_CL02_MC = ZE - HS + CL02_MC_DV + HI

disp('----------------------------------------');
disp('CL02 FC');

NIATE_CL02_FC_H = [003 44 04]
NIATE_CL02_FC_H = dms2degrees(NIATE_CL02_FC_H);
NIATE_CL02_FC_V = [089 17 10]
NIATE_CL02_FC_V = dms2degrees(NIATE_CL02_FC_V);
NIATE_CL02_FC_DI = 18.295

NIATE_CL02_FC_Az = AzRef + (NIATE_CL02_FC_H - NIATE_E9_H)
CL02_FC_DH = NIATE_CL02_FC_DI*(sind(NIATE_CL02_FC_V))
CL02_FC_DV = NIATE_CL02_FC_DI*(cosd(NIATE_CL02_FC_V))

X_CL02_FC = XE + (CL02_FC_DH*(sind(NIATE_CL02_FC_Az)))
Y_CL02_FC = YE + (CL02_FC_DH*(cosd(NIATE_CL02_FC_Az)))
Z_CL02_FC = ZE - HS + CL02_FC_DV + HI
```

Resultados gerados:

```
////////////////////////////////////////////////
//      UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO    //
//   DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  //
// DISCIPLINA: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO //
//      AUTOR: ALEXANDRE MACHADO XAVIER       //
//       ORIENTADORA: ANDRÉA DE SEIXAS        //
////////////////////////////////////////////////

ALGORITMO PARA AS IRRADIAÇÕES A PARTIR DE NIATE
------------------------------------------------------------

NIATE para E9 - Azimute de referência

Coordenadas NIATE (estação):
XE =           149887.4667
YE =           249543.5405
ZE =           8.30747
HI =           1.432

Coordenadas E9 (Referência):
XRef =         149838.7617
YRef =         249549.1502

Azimute de referência NIATE-E9:
AzRef =        276.570210077103

Altura do prisma:
HS =           1.49

Série 1 Dados
```

```
NIATE_E9_1_H_PD =     0     0     0
NIATE_E9_1_H_PI =   179    59    57

Série 1 Resultados
NIATE_E9_1_Hd =       0                          0         -1.49999999999864

Série 2 Dados
NIATE_E9_2_H_PD =   359    59    59
NIATE_E9_2_H_PI =   179    59    55

Série 2 Resultados
NIATE_E9_2_Hd =       0                          0         -2.99999999999727

NIATE-E9 médias
NIATE_E9_Hd =         0                          0         -2.24999999994679

----------------------------------------
CL01
NIATE_CL01_H =   359    53     6
NIATE_CL01_V =    89    44    12
NIATE_CL01_DI =   61.031
NIATE_CL01_Az =   636.455835077103
CL01_DH =         61.0303554061849
CL01_DV =         0.280499545030969
X_CL01 =          149826.823349053
Y_CL01 =          249550.402589104
Z_CL01 =          8.52996954503097
----------------------------------------
CL02 IC
NIATE_CL02_IC_H = 0    46    12
NIATE_CL02_IC_V = 89    20    14
NIATE_CL02_IC_DI = 19.277
NIATE_CL02_IC_Az = 277.340835077103
CL02_IC_DH =     19.2757102806336
CL02_IC_DV =     0.222984701440163
X_CL02_IC =      149868.348980555
Y_CL02_IC =      249546.00338653
Z_CL02_IC =      8.47245470144016
----------------------------------------
CL02 MC
NIATE_CL02_MC_H = 1    36    18
NIATE_CL02_MC_V = 89    20    29
NIATE_CL02_MC_DI = 18.547
NIATE_CL02_MC_Az = 278.175835077103
CL02_MC_DH =      18.5457746737546
CL02_MC_DV =      0.21319181580051
X_CL02_MC =       149869.109419059
Y_CL02_MC =       249546.177921981
Z_CL02_MC =       8.46266181580051
----------------------------------------
CL02 FC
NIATE_CL02_FC_H = 3    44     4
NIATE_CL02_FC_V = 89    17    10
```

```
NIATE_CL02_FC_DI = 18.295
NIATE_CL02_FC_Az = 280.305279521547
CL02_FC_DH =     18.2935799201014
CL02_FC_DV =     0.227944525845418
X_CL02_FC =      149869.468221903
Y_CL02_FC =      249546.813091096
Z_CL02_FC =      8.47741452584542
```

APÊNDICE H – CADERNETA DE CAMPO DO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DOS PAVIMENTOS EM EXCEL

CADERNETA DE PROCESSAMENTO DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

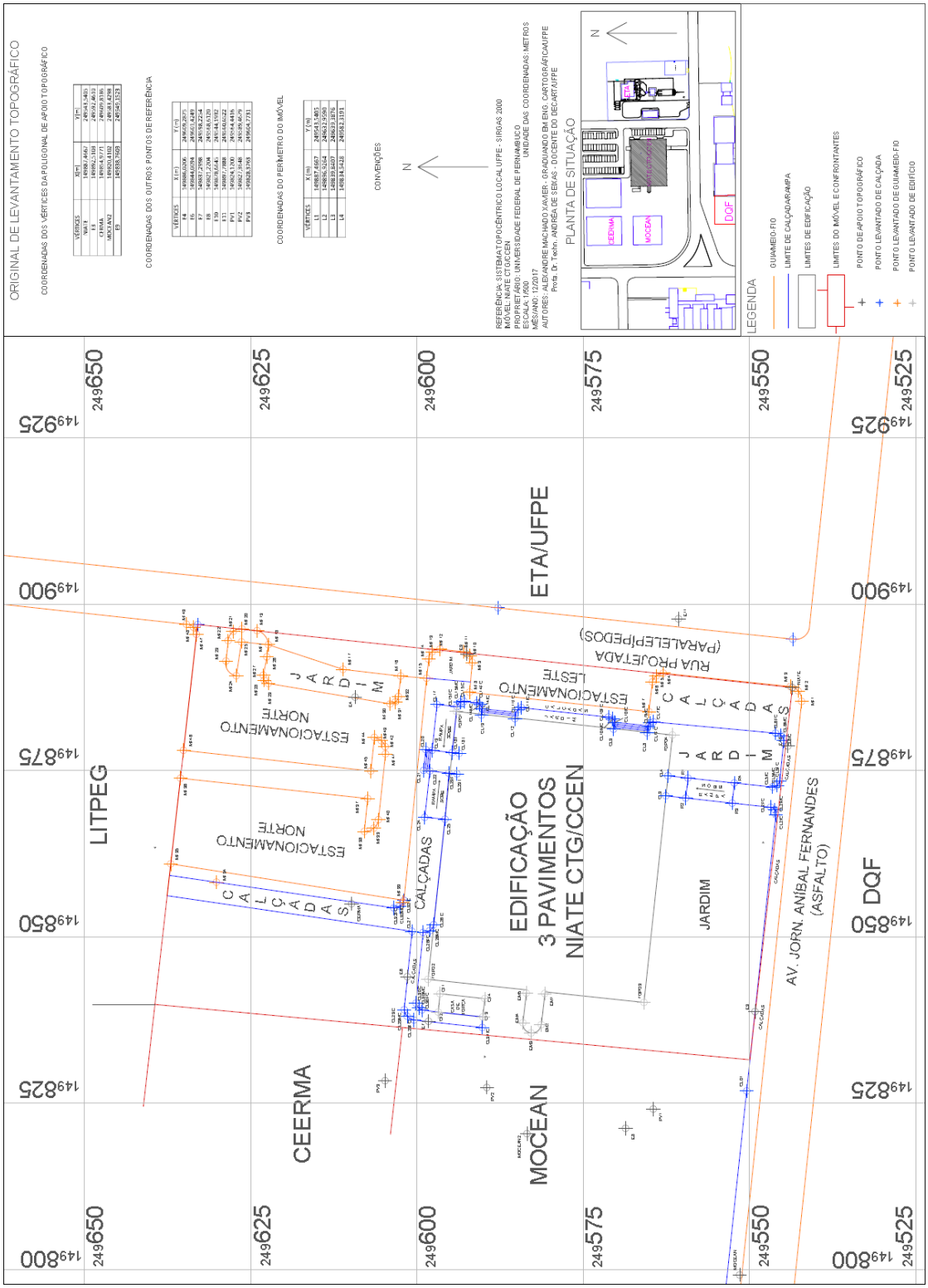
DATA: 20/10/2017 HORA: 16-20h LOCAL: NIATE CTG/CEEN EQUIPAMENTO: TOPCON AT-B4

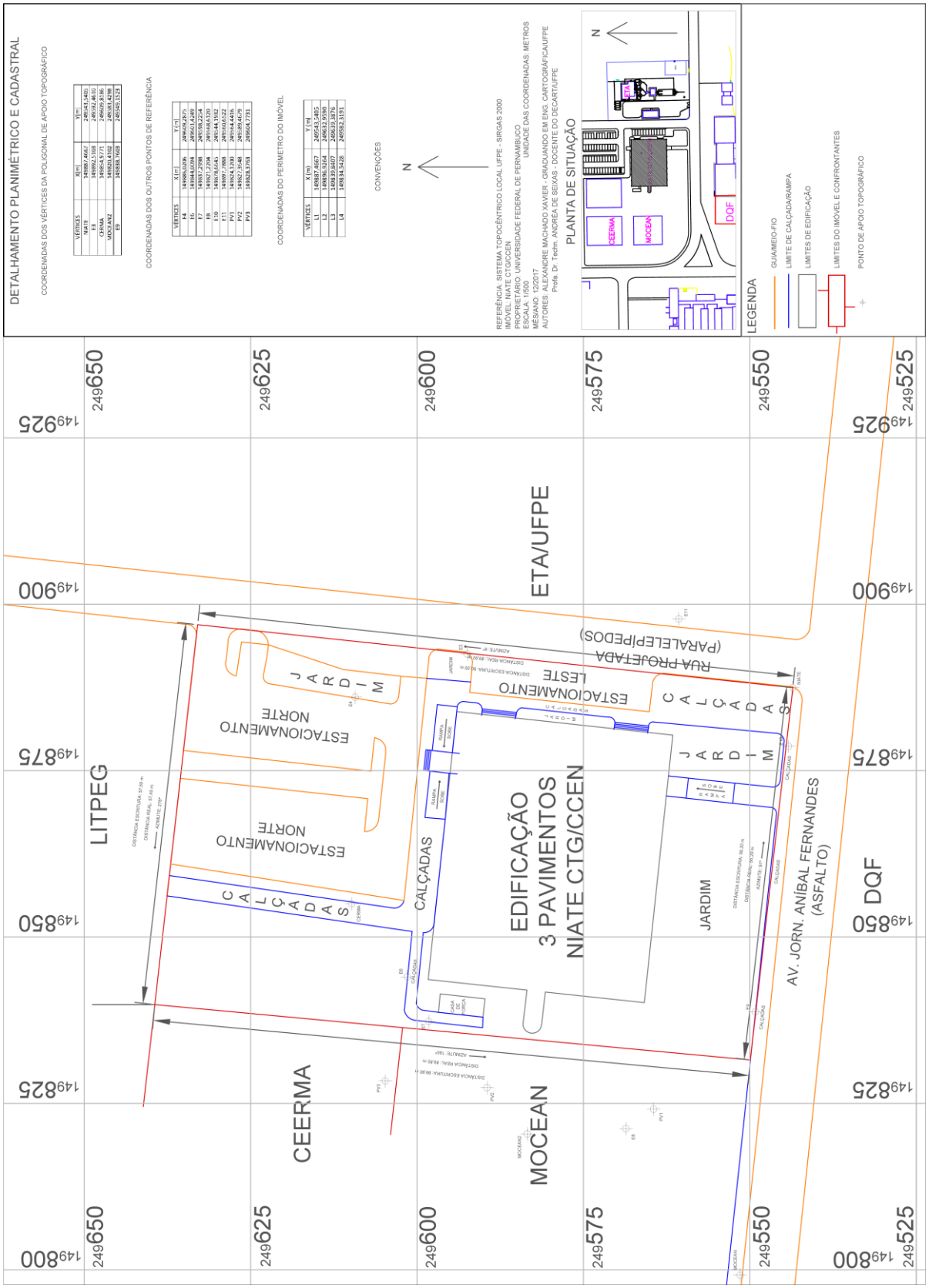
OPERADOR DO NÍVEL: ALEXANDRE MACHADO XAVIER OPERADOR DA MIRA: ANA CICILIA PEREIRA DE LIMA SUPERVISÃO: PROFa. ANDRÉA DE SEIXAS

ESTAÇÃO	P.V.	LEITURA RÉ	LEITURA VANTE	FS	ESTADIA FM	FI	VERIFICAÇÃO	CONTROLE	DESNÍVEL FM	DESNÍVEL VER.	P.REF.	COTA	DISTÂNCIA	OBS
E1	NIATE	X		1755	1672	1590	1672.5	0.5				8.30747	8.307	16.5
	P1-1		X	868	842	817	842.5	0.5	830	830		9.13747	9.137	IRRADIADO
	P1-2		X	905	827	750	827.5	0.5	845	845		9.15247	9.152	IRRADIADO
	P1-3		X	905	820	735	820	0	852	852.5		9.15947	9.160	IRRADIADO
	AUX1	X		820	740	660	740	0	932	932.5		9.23947	9.240	16
E2	AUX1	X		3369	3348	3329	3349	1				9.23947	9.240	4
	AUX2		X	909	889	869	889	0	2459	2460		11.69847	11.700	4
E3	AUX2	X		1935	1925	1915	1925	0				11.69847	11.700	2
	P2-1		X	757	743	727	742	1	1182	1183		12.88047	12.883	IRRADIADO
	AUX3		X	676	662	646	661	1	1263	1264		12.96147	12.964	3
E4	AUX3	X		1711	1686	1660	1685.5	0.5				12.96147	12.964	5.1
	P1-1		X	1791	1765	1739	1765	0	-79	-79.5		12.88247	12.884	IRRADIADO
	AUX4		X	148	122	98	123	1	1564	1562.5		14.52547	14.526	5
E5	AUX4	X		1705	1687	1669	1687	0				14.52547	14.526	3.6
	P3-1		X	191	169	146	168.5	0.5	1518	1518.5		16.04347	16.045	IRRADIADO
	AUX5		X	110	87	65	87.5	0.5	1600	1599.5		16.12547	16.126	4.5
E6	AUX5	X		110	87	65	87.5	0.5				16.12547	16.126	4.5 CONTRA-NIV
	P3-1		X	192	170	148	170	0	-83	-82.5		16.04247	16.043	IRRADIADO
	AUX6		X	1706	1689	1672	1689	0	-1602	-1601.5		14.52347	14.524	3.4
E7	AUX6	X		138	112	84	111	1				14.52347	14.524	5.4
	P2-1		X	1781	1755	1728	1754.5	0.5	-1643	-1643.5		12.88047	12.881	IRRADIADO
	AUX7		X	1700	1675	1650	1675	0	-1563	-1564		12.96047	12.960	5
E8	AUX7	X		147	126	103	125	1				12.96047	12.960	4.4
	P2-1		X	228	207	186	207	0	-81	-82		12.87947	12.878	IRRADIADO
	AUX8		X	1956	1940	1924	1940	0	-1814	-1815		11.14647	11.145	3.2
E9	AUX7	X		1344	1316	1288	1316	0				11.14647	11.145	5.6
	AUX8		X	3246	3221	3194	3220	1	-1905	-1904		9.24147	9.241	5.2
E10	AUX8	X		780	704	630	705	1				9.24147	9.241	15
	NIATE		X	1720	1640	1560	1640	0	-936	-935		8.30547	8.306	16
							ERRO NIV-CNIV		-2	-1			PERÍMETRO	131.4
													PRECISÃO	0.015221

APÊNDICE I – PLANTA PLANIALTIMÉTRICA CADASTRAL E ORIGINAL TOPOGRÁFICO

Obs.: os arquivos para a impressão das plantas em escala 1/500 encontra-se na versão digital deste documento.




DETALHAMENTO PLANIMÉTRICO E CADASTRAL
COORDENADAS DOS VÉRTICES DA POLIGONAL DE APOIO TOPOGRÁFICO
COORDENADAS DOS OUTROS PONTOS DE REFERÊNCIA
COORDENADAS DO PERÍMETRO DO IMÓVEL
CONVENÇÕES
PLANTA DE SITUAÇÃO
LEGENDA
GUIA/MEIO-FIO
LIMITE DE CALÇADA/RAMPA
LIMITES DE EDIFICAÇÃO
LIMITES DO IMÓVEL E CONFRONTANTES
PONTO DE APOIO TOPOGRÁFICO
LITPEG
CEERMA
MOCEAN
DQF
ETA/UFPE
EDIFICAÇÃO
3 PAVIMENTOS
NIATE CTG/CCEN
ESTACIONAMENTO NORTE
ESTACIONAMENTO LESTE
JARDIM
CALÇADAS
RUA PROJETADA
(PARALELEPÍPEDOS)
AV. JORN. ANÍBAL FERNANDES
(ASFALTO)

ANEXO A – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO PELO ASTGEOTOP DA POLIGONAL DO 3º LEVANTAMENTO

Parte 1. Ajustamento tradicional:

```
AstGeoTop - Lev.Planialtimétrico©Versão 2014.07.14
AJUSTAMENTO PELO MÉTODO TRADICIONAL


DADOS CLASSIFICATÓRIOS DA POLIGONAL NBR 13.133(94)
Classe de Poligonal :IIP (NBR13133)
Goniômetro - Classe 3: precisão alta
Precisão Angular : 02 "
MED - Classe 1: precisão baixa
Precisão Linear : (10mm + 10ppm x D)

                                    PLANILHA   TOPOGRÁFICA  DE  CÁLCULO  ANALÍTICO
_____________________________________________________________________________________________
_____________________________________________________________________________________________
Est.   |P.Vis. |  Ângulo     | Distância |Âng.Compens. |  Azimute    |      Coordenadas
Parciais         |    Coord. Parciais Compensadas    |       Coordenadas      Totais
|
       |       |             |           |             |             |    X      |     Y     |
H      |    X      |     Y     |     H     |    X        |     Y       |      H       |
=============================================================================================
=============================================================================================
NIATE  |E3     |  89°18`53,5"|     49,179|  89°18`58,1"|   5°53`10,4"|     5,0435|    48,9197|
0,1000|     5,0406|    48,9208|     0,0993| 149887,4667 | 249543,5405 |       8,3075 |
E3     |CERMA  | 108°55`41,0"|     41,350| 108°55`45,6"| 294°48`56,0"|   -37,5319|    17,3545|
0,3550|   -37,5343|    17,3555|     0,3544| 149892,5073 | 249592,4613 |       8,4068 |
CERMA  |MOCEAN2| 117°49`06,0"|     43,487| 117°49`10,6"| 232°38`06,6"|   -34,5629|   -26,3917|
0,2940|   -34,5654|   -26,3908|     0,2934| 149854,9730 | 249609,8168 |       8,7613 |
MOCEAN2|E9     |  99°11`46,0"|     38,882|  99°11`50,6"| 151°49`57,2"|    18,3542|   -34,2773|
-0,5240|    18,3520|   -34,2764|    -0,5245| 149820,4076 | 249583,4260 |       9,0547 |
E9     |NIATE  | 124°44`10,5"|     49,032| 124°44`15,1"|  96°34`12,3"|    48,7100|    -5,6102|
-0,2220|    48,7071|    -5,6091|    -0,2227| 149838,7596 | 249549,1496 |       8,5302 |
---------------------------------------------------------------------------------------------
---------------------------------------------------------------------------------------------
                                  S.ang = 540°00`00,0"                  Ex=0,0129   Ey=-0,0049
Ez=0,0030   Ex=0,0000   Ey=0,0000   Ez=0,0000

Perímetro = 221,930 m
Área = 3319,329 m2
Área = 0,3319329 ha
Área = 0,1371623 Alq.SP


VALORES MÁXIMOS ACEITÁVEIS APÓS O AJUSTAMENTO
-------------------------------------------------------------------------------
Tolerância do fechamento angular = 0°00`33,5"
Erro médio máximo aceitável em azimute = 0°00`15,0"

Tolerância do erro de fechamento linear = 0,1413 m
Erro relativo linear máximo aceitável   = 1/1570,3149
Erro médio relativo máximo aceitável entre duas estações poligonais = 1/785,1575

Erro médio máximo aceitável em coordenadas (posição) = 0,0707 m
-------------------------------------------------------------------------------


VALORES OBTIDOS APÓS O AJUSTAMENTO
--------------------------------------------------
Erro de fechamento angular   = -0°00`23,0"
Erro médio em azimute        = 0°00`12,3"
```

Erro de fechamento linear = 0,0138 m
Erro relativo linear = 1/16059,5438
Erro médio relativo entre duas estações poligonais
NIATE E3 1/16059,8042
E3 CERMA 1/16060,5416
CERMA MOCEAN2 1/16060,0687
MOCEAN2 E9 1/16058,7875
E9 NIATE 1/16058,5753

Erro médio em coordenadas (posição) dos vértices = 0,0679 m

CONCLUSÃO APÓS O AJUSTAMENTO - POLIGONAL IIP (NBR13133)
Fechamento angular : dentro da especificação
Erro médio em Azimute : dentro da especificação
Erro de fechamento linear : dentro da especificação
Erro relativo linear : dentro da especificação
Erro relativo entre duas estações poligonais : dentro da especificação
Erro médio em posição : dentro da especificação

PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coordenadas Totais		
					X	Y	H
NIATE	E3	89°18`48,9"	49,180	5°53`10,4"	149887,4667	249543,5405	8,3075
E3	CERMA	108°55`57,1"	41,353	294°49`07,5"	149892,5103	249592,4610	8,4068
CERMA	MOCEAN2	117°49`22,4"	43,488	232°38`29,9"	149854,9770	249609,8187	8,7613
MOCEAN2	E9	99°11`48,1"	38,880	151°50`18,0"	149820,4100	249583,4300	9,0547
E9	NIATE	124°44`03,5"	49,029	96°34`21,5"	149838,7599	249549,1525	8,5302

Perímetro = 221,930 m
Área = 3319,330 m2
Área = 0,3319330 ha
Área = 0,1371624 Alq.SP

COORDENADAS DOS PONTOS IRRADIADOS

Ponto	Coordenadas Totais		
	X	Y	H
MOCEAN	149799,180	249551,454	8,572

Parte 2. Ajustamento MMQ:

```
AstGeoTop - Lev.Planimétrico©Versão  2012.11.11
AJUSTAMENTO PELO MÉTODO DOS MINIMOS QUADRADOS
MODELO PARAMÉTRICO  (Variação de Coordenadas)


DADOS CLASSIFICATÓRIOS DA POLIGONAL NBR 13.133(94)
Classe de Poligonal :IIIP (NBR13133)
Goniômetro - Classe 2: precisão média
Precisão Angular : 07 "
MED - Classe 1: precisão baixa
Precisão Linear : (10mm + 10ppm x D)

VETOR DOS RESÍDUOS DO AJUSTAMENTO (V=AX-L)

_________________________________________
Est.   |P.Vis. |  Ângulo     | Distância |
=========================================
NIATE  |E3     |    4,1353"  |    0,0010 |
E3     |CERMA  |    5,1772"  |    0,0045 |
CERMA  |MOCEAN2|    5,2764"  |    0,0026 |
MOCEAN2|E9     |    4,4953"  |   -0,0033 |
E9     |NIATE  |    3,9159"  |   -0,0045 |
-----------------------------------------

PARÂMETROS AJUSTADOS Xa, Desvios-padrão e Erro Posicional(1*sigma)

_____________________________________________________________________________
Est.   |       X(m)    |SigmaX(m)|     Y(m)      |SigmaY(m)|P.Posição(m)
=============================================================================
NIATE  |  149887,4667 |  0,0000 |  249543,5405 |  0,0000 |  0,0000   |
E3     |  149892,5103 |  0,0011 |  249592,4612 |  0,0056 |  0,0057   |
CERMA  |  149854,9743 |  0,0058 |  249609,8177 |  0,0058 |  0,0082   |
MOCEAN2|  149820,4092 |  0,0059 |  249583,4247 |  0,0056 |  0,0082   |
E9     |  149838,7617 |  0,0060 |  249549,1502 |  0,0020 |  0,0063   |
_____________________________________________________________________________

OBSERVACOES AJUSTADAS La e Desvios-padrão (1*sigma)

_____________________________________________________________________________
Est.   |P.Vis. |  Ângulo     |Sigma Âng." |Distância(m) |Sig.Dist.(m)
=============================================================================
NIATE  |E3     |  89°18`57,8"|  6,5633    |    49,180   |  0,0057     |
E3     |CERMA  | 108°55`45,8"|  6,5913    |    41,355   |  0,0061     |
CERMA  |MOCEAN2| 117°49`11,9"|  6,5987    |    43,489   |  0,0056     |
MOCEAN2|E9     |  99°11`50,3"|  6,5772    |    38,879   |  0,0060     |
E9     |NIATE  | 124°44`14,3"|  6,6057    |    49,027   |  0,0060     |
_____________________________________________________________________________

    CONTROLE DE QUALIDADE DO AJUSTAMENTO

Variância da Unidade Peso Estimada a Posteriori = 0,563
********   Teste de Hipótese Qui-quadrado   ***********
Estatística do teste vTPV = 1,688
Percentil inferior da distribuição Qui-quadrado = 0,22
Percentil superior da distribuição Qui-quadrado = 9,35
Conclusão
Ao nivel de significancia de 5%:
NÃO É REJEITADA a hipótese de que as observações ponderadas sejam provenientes
de uma distribuição normal


                PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS POR MMQ

_____________________________________________________________________________
Est.   |P.Vis. |  Ângulo     | Distância |  Azimute    |       Coord. Totais       |
       |       |             |           |             |    X         |     Y      |
=============================================================================
NIATE  |E3     |  89°18`57,8"|    49,180 |   5°53`10,5"|  149887,4667 |  249543,5405 |
```

E3	CERMA	108°55`45,8"	41,355	294°48`56,3"	149892,5103	249592,4612
CERMA	MOCEAN2	117°49`11,9"	43,489	232°38`08,2"	149854,9743	249609,8177
MOCEAN2	E9	99°11`50,3"	38,879	151°49`58,4"	149820,4092	249583,4247
E9	NIATE	124°44`14,3"	49,027	96°34`12,8"	149838,7617	249549,1502

Perímetro = 221,930 m
Área = 3319,332 m2
Área = 0,3319332 ha
Área = 0,1371625 Alq.SP

****

PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS PELO MÉTODO TRADICIONAL

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
NIATE	E3	89°18`49,4"	49,180	5°53`10,4"	149887,4667	249543,5405
E3	CERMA	108°55`56,8"	41,352	294°49`07,2"	149892,5103	249592,4610
CERMA	MOCEAN2	117°49`21,9"	43,488	232°38`29,1"	149854,9771	249609,8186
MOCEAN2	E9	99°11`48,0"	38,880	151°50`17,2"	149820,4102	249583,4298
E9	NIATE	124°44`03,9"	49,029	96°34`21,0"	149838,7603	249549,1523

Perímetro = 221,929 m
Área = 3319,317 m2

PLANILHA DE DISCREPÂNCIAS DOS AJUSTAMENTOS (MMQ - MÉTODO TRADICIONAL)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
					X	Y
NIATE	E3	0°00`08,4"	0,000	0°00`00,1"	0,0000	0,0000
E3	CERMA	-0°00`11,0"	0,002	-0°00`10,9"	0,0000	0,0002
CERMA	MOCEAN2	-0°00`10,1"	0,001	-0°00`21,0"	-0,0028	-0,0009
MOCEAN2	E9	0°00`02,2"	-0,001	-0°00`18,7"	-0,0010	-0,0051
E9	NIATE	0°00`10,5"	-0,002	-0°00`08,3"	0,0014	-0,0021

Perímetro = 0,001 m
Área = 0,015 m2

ANEXO B – RELATÓRIO ASTGEOTOP DAS INTERSEÇÕES A VANTE

Parte 1. Ponto E8:

```
                                        Programa  AstGeoTop : Módulo Interseção Direta
                                   Versão 2012.06.10  - Prof. Dr. Silvio Garnés -
silvio.jacks@ufpe.br

_____________________________________________________________________________

INTERSECÇÃO DIRETA (INTERSECÇÃO A VANTE)
Comprimento da base    : 38,880m       Desvio padrão : 0,0005m
Azimute  da base Az_AB : 151°50`17,2"   Desvio Padrão : 5"
Coord. base XA = 149820,410m     Desvio padrão : 0,0005m
Coord. base YA = 249583,430m     Desvio padrão : 0,0005m
Desvio padrão Ângulo (a) da base  : 5"
Desvio padrão Ângulo (b) da base  : 5"

-------------------------------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------
Alvo_P          Ang_Hor_a      Ang_Hor_b    Dist.d(A-P)   Sigma d(A-P)    Dist.d(B-P)   Sigma
d(B-P)             XP         SigmaXP             YP        SigmaYP
E8            25°01`54,0"    13°52`05,0"        14,8402        0,00112        26,1974
0,00103    149821,2204        0,00072    249568,6120        0,00123
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------

INTERSECÇÃO DIRETA (A VANTE) - COMPONENTE VERTICAL
Altura do Instrumento em A : 1,438    Desvio padrão : 0,0005
Altura do Instrumento em B : 1,488    Desvio padrão : 0,0005
Altura do alvo em P : 1,489    Desvio padrão : 0,0001
Cota do Ponto A : 0,7472    Desvio padrão : 0,0001
Cota do Ponto B : 0,2227    Desvio padrão : 0,0001
Precisão do Ang. zenital em A (D.padrão): 5"
Precisão do Ang. zenital em B (D.padrão): 5"

Alvo_P     Ang.Zenital ZA Ang.Zenital ZB    D.Incl(A-P)    D.Incl(B-P)    Cota_alvo/A
D.pad.cota/A    Cota_alvo/B   D.pad.cota/B      Cota_alvo  D.pad.C(alvo)
E8            90°56`42,0"    89°29`36,0"        14,8422        26,1984         0,4514
0,0006         0,4534         0,0008         0,4521         0,0014
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------
```

Parte 2. Ponto TOPO4:

```
                                        Programa  AstGeoTop : Módulo Interseção Direta
                                   Versão 2012.06.10  - Prof. Dr. Silvio Garnés -
silvio.jacks@ufpe.br

_____________________________________________________________________________

INTERSECÇÃO DIRETA (INTERSECÇÃO A VANTE)
Comprimento da base    : 49.027m       Desvio padrão : 0,001m
Azimute  da base Az_AB : 276°34`13,0"   Desvio Padrão : 2"
Coord. base XA = 149887.466700000m     Desvio padrão : 0m
Coord. base YA = 249543.540500000m     Desvio padrão : 0,000m
Desvio padrão Ângulo (a) da base  : 2"
Desvio padrão Ângulo (b) da base  : 2"

-------------------------------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------
Alvo_P          Ang_Hor_a      Ang_Hor_b    Dist.d(A-P)   Sigma d(A-P)    Dist.d(B-P)   Sigma
d(B-P)             XP         SigmaXP             YP        SigmaYP
TOPO4         61°52`14,0"   336°47`37,0"        19,3903        0,00058        43,3963
0,00091    149880,3415        0,00033    249561,5743        0,00055
```