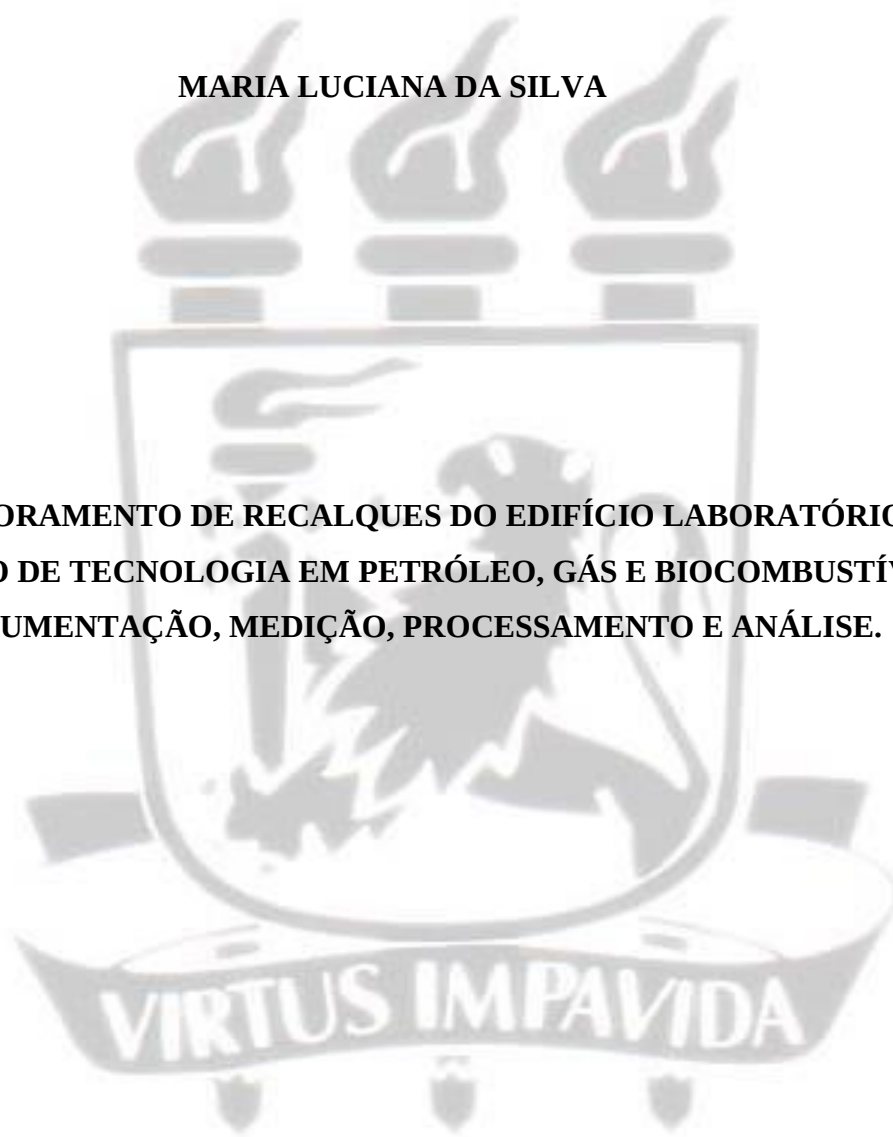

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA**

MARIA LUCIANA DA SILVA

**MONITORAMENTO DE RECALQUES DO EDIFÍCIO LABORATÓRIO
INTEGRADO DE TECNOLOGIA EM PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS:
INSTRUMENTAÇÃO, MEDIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE.**



Recife

2017

MARIA LUCIANA DA SILVA

**MONITORAMENTO DE RECALQUES DO EDIFÍCIO LABORATÓRIO
INTEGRADO DE TECNOLOGIA EM PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS:
INSTRUMENTAÇÃO, MEDIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE.**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, cursada na Graduação de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do grau de Engenheira Cartógrafa.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Andréa de Seixas

Recife

2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586m	Silva, Maria Luciana da. Monitoramento de recalques do edifício laboratório integrado de tecnologia em petróleo, gás e biocombustíveis: instrumentação, medição, processamento e análise / Maria Luciana da Silva. – 2017. 82 folhas, il., gráfs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Andréa de Seixas. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, 2017. Inclui Referências. 1. Engenharia Cartográfica. 2. Recalque. 3. Redes Altimétricas. 4. Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. 5. Ajustamento das Observações. 6. Nível Digital. I. Seixas, Andréa de. (Orientadora). II. Título. UFPE 526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2017-410
-------	--

**MONITORAMENTO DE RECALQUES DO EDIFÍCIO LABORATÓRIO
INTEGRADO DE TECNOLOGIA EM PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS:
INSTRUMENTAÇÃO, MEDIÇÃO, PROCESSAMENTO E ANÁLISE.**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, cursada na Graduação de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do grau de Engenheira Cartógrafa, defendida no Departamento de Engenharia Cartográfica, em 11 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Techn. Andréa de Seixas (Orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica -Universidade Federal de Pernambuco.

Prof.^a Dr.^a. Sylvana Melo dos Santos

Departamento de Engenharia Civil -Universidade Federal de Pernambuco.

Prof.^a Dr.^a. Liliane de Allan Fonseca

Departamento de Engenharia Civil -Universidade Federal de Pernambuco.

Dedico este trabalho, com todo o meu amor, aos meus pais, Antônio José e Maria Lucia.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e pela vida das pessoas que amo, as quais me motivam a superar os desafios da minha caminhada.

Aos meus amados pais, Antônio José da Silva e Maria Lucia da Silva, por todo o amor e cumplicidade, por terem me dado força nos momentos em que fraquejei e por terem me ensinado, com exemplos práticos, a como ter coragem.

Aos meus queridos irmãos, Antônio Carlos e Antoniel José, pelas pessoas maravilhosas que são, por todo carinho e apoio.

Ao meu amado Walber Santana, por toda amizade e amor, pela cumplicidade e paciência, e por ter estado ao meu lado em todas as situações, me ajudando a tomar as decisões e me trazendo calma nos momentos difíceis.

À equipe do Projeto de Pesquisa “Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG”, a saber: Ermerson Vasconcelos, David, Andréa de Seixas e Roberto de Seixas.

Aos amigos Welisson Santos, Alexandre Xavier e Leonardo Gomes, por terem participado em algumas das campanhas de medição do LITPEG.

Às amigas Nathalia Rose, Renata Miranda, Camila Ribeiro, Raquel Arcoverde e Pricila Alves, pela parceria, pela amizade sincera e por todos os momentos vividos durante a graduação, nos quais aprendemos, amadurecemos e nos divertimos.

À professora Andrea de Seixas, por todo o apoio e orientação durante a graduação, pelos ensinamentos e confiança prestada.

Às professoras Liniane de Allan Fonseca e Sylvana Melo dos Santos por terem aceitado participar da banca deste TCC e terem contribuído, com os seus apontamentos, para a produção desta monografia.

Aos Laboratórios de Geodésia (LAGEO) e Topografia (LATOP) pela concessão dos equipamentos e acessórios.

Ao Projeto de Pesquisa Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE nº 3076.040512/2015-15 e à Diretoria do CTG pela bolsa de pesquisa.

RESUMO

A medição de recalque consiste em um tipo de auscultação geodésica, a qual se faz necessária para o acompanhamento do comportamento de estruturas ao longo do tempo. Em se tratando de recalque o movimento alvo de investigação é vertical e descendente, sendo tolerável nos limites estabelecidos pelo projetista. Caso ultrapassado esses limites, o recalque deverá ser investigado, diagnosticado e tomadas as devidas providências. A grandeza investigada na medição de recalque refere-se às distâncias verticais de pontos de interesse relativas a uma superfície de referência, a qual é obtida por meio do método de nivelamento topográfico/geodésico. A etapa inicial do procedimento metodológico para o monitoramento de estruturas consiste na determinação da posição, do objeto a ser monitorado, em um Sistema de Referência. O objeto de estudo desta monografia é o edifício LITPEG (Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis), localizado no campus Recife da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), onde já foram realizadas quatorze campanhas de nivelamento geométrico para fins de monitoramento de recalques, sendo três dessas campanhas exploradas nesta monografia, são elas: campanha C12 (18/05/2017), campanha C13 (02/08/2017) e campanha C14 (01/11/2017). O procedimento em campo teve início com a materialização de Referências de Nível e 41 pinos em pilares do prédio do LITPEG e 2 pinos em pilares do prédio da Unidade Piloto, além da materialização de uma base de verificação e/ou retificação de níveis. As medições foram realizadas por meio do nivelamento geométrico de altíssima precisão de alguns circuitos preestabelecidos estrategicamente para que se pudesse transportar a altitude para uma Referência de Nível próxima ao LITPEG e medir todos os pinos materializados nos pilares do edifício. O processamento dos dados consistiu em calcular as altitudes brutas a partir das altitudes dos planos de referência em cada estação e realizar o ajustamento das observações por dois métodos distintos, a saber: Método dos Pesos das Distâncias e Método dos Mínimos Quadrados-Modelo Paramétrico. As altitudes provenientes dos dois métodos de ajustamento tiveram suas discrepâncias investigadas e resultou em valores na ordem de décimos e centésimos de milímetros, o que satisfaz o controle das altitudes obtidas. Entre as campanhas C12 e C13, com intervalo de 76 dias, 41 pilares sofreram recalque de milímetros e 2 pilares apresentaram levantamento de décimos de milímetros, foram eles o B27 e B24. Estes dois pilares ficam localizados em uma estrutura anexo ao LITPEG, não tendo acompanhado o ritmo da construção do prédio principal. Entre as campanhas C13 e C14, com

intervalo de 91 dias, todos os 43 pilares obtiveram recalque em milímetros. Para os períodos de observação foram determinadas também as respectivas velocidades parciais entre as campanhas realizadas e suas respectivas acelerações.

Palavras Chave: Recalque. Redes altimétricas. Nivelamento geométrico de alta precisão. Ajustamento das observações. Nível digital.

ABSTRACT

The measurement of settlement consists of a type of geodetic auscultation, which is necessary for monitoring the behavior of structures over time. When it comes to settlement the target movement of investigation is vertical and descending, being tolerable within the limits set by the designer. If these limits are exceeded, the settlement should be investigated, settlement should be investigated, diagnosed and measures taken. The magnitude investigated in the settlement measurement refers to the vertical distances of the points of interest relative to a reference surface, which is obtained by the topographic/geodesic leveling method. The initial step of the methodological procedure for the monitoring of structures consists in determining the position, of the object to be monitored, in a Reference System. The object of study of this monograph is the LITPEG building (Integrated Laboratory of Technology, Oil, Gas and Biofuels), located on the Recife campus of UFPE (Federal University of Pernambuco), where fourteen geometric leveling campaigns have already been carried out with the objective of monitoring settlement, being three of these campaigns explored in this monograph, they are: campaign C12 (05/18/2017), campaign C13 (02/08/2017) and campaign C14 (01/11/2017). The field procedure started with the materialization of Level References and 41 pins on pillars of the LITPEG building and 2 pins on pillars of the Pilot Unit building, in addition to the materialization of a verification base and / or level rectification. The measurements were made by means of the high precision geometric leveling of some circuits preset strategically so that the altitude could be transported to a Level, Reference near the LITPEG and measure all the materialized pins on the pillars of the building. Data processing consisted of calculating the gross altitudes from the altitudes of the reference plane at each station and adjust the observations by two different methods, namely: Distance Weights Method and Least Squares Method. The altitudes from the two methods of adjustment had their discrepancies investigated and resulted in values in the order of tenths and hundredths of millimeters, which satisfied the control of the altitudes obtained. Between the campaigns C12 and C13, with an interval of 76 days, 41 pillars suffered settlement of millimeters and 2 pillars presented a survey of tenths of millimeters, they were the B27 and the B24. These two pillars are located in a structure annexed to the LITPEG, not having followed the rhythm of the construction of the main building. Between the campaigns C13 and C14, with interval of 91 days, all 43 pillars obtained repression in millimeters. For the observation periods, the respective partial velocities between the campaigns carried out and their respective accelerations were also determined.

Keywords: Settlement. Altimetric networks. High precision geometric leveling. Adjustment of observations. Digital level.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Conversão entre altitude elipsoidal (h), altitude ortométrica (H) e ondulação geoidal (N).....	20
Figura 2- Princípio do nivelamento geométrico em sua composição básica.....	22
Figura 3- Influência da curvatura da terra no nivelamento entre dois pontos.....	26
Figura 4- Configuração da base de verificação e/ou retificação para o Método Kukkamäki....	28
Figura 5- Mapa de Localização.....	36
Figura 6-Alguns dos equipamentos e acessórios utilizados.....	37
Figura 7-Distribuição dos pinos no LITPEG.....	38
Figura 8-Configuração do circuito inicial.....	39
Figura 9- Fotos do nivelamento do circuito inicial.....	40
Figura 10-Configuração do circuito externo ao LITPEG.....	41
Figura 11-Configuração do circuito interno ao LITPEG.....	42
Figura 12-Configuração do nivelamento do trecho RNLITPEG01 à RNLITPEG02.....	42
Figura 13- Fluxograma do processamento dos dados.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perímetros dos trechos nivelados e erros de fechamento (campanha de medição: 18/05/2017).....	48
Tabela 2 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 18/05/2017).....	48
Tabela 3– Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito intermediário - campanha de medição: 18/05/2017).....	49
Tabela 4 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017).....	50
Tabela 5 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017).....	51
Tabela 6 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 18/05/2017).....	52
Tabela 7 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito intermediário - campanha de medição: 18/05/2017).....	52
Tabela 8 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017).....	53
Tabela 9 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017).....	54
Tabela 10 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 18/05/2017).....	55
Tabela 11 – Perímetros dos trechos nivelados, erros de fechamento e tolerâncias (campanha de medição: 02/08/2017).....	56
Tabela 12 - Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 02/08/2017).....	57
Tabela 13 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito intermediário - campanha de medição: 02/08/2017).....	57
Tabela 14 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017).....	58
Tabela 15 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017).....	58

Tabela 16 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 02/08/2017).....	59
Tabela 17 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito intermediário - campanha de medição: 02/08/2017).....	60
Tabela 18 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017).....	60
Tabela 19 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017).....	61
Tabela 20 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 18/05/2017).....	61
Tabela 21– Perímetros dos trechos nivelados, erros de fechamento e tolerâncias (campanha de medição: 01/11/2017).....	63
Tabela 22 - Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 01/11/2017).....	63
Tabela 23- Linhas, distâncias e desníveis (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017).....	64
Tabela 24 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017).....	64
Tabela 25 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 01/11/2017).....	65
Tabela 26 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017).....	66
Tabela 27– Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017).....	66
Tabela 28 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 01/11/2017).....	67
Tabela 29 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, recalques entre as campanhas de medição C12 e C13 e suas respectivas velocidades e acelerações.....	69
Tabela 30 – Altitudes ajustadas por MMQ e recalques entre as campanhas de medição C12 e C13.....	70
Tabela 31 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e recalques entre as campanhas de medição C13 e C14.....	71

Tabela 32 – Altitudes ajustadas por MMQ, recalques, velocidades e acelerações de recalque, entre as campanhas de medição C13 e C14.....	73
Tabela 33 – Recalques máximos e mínimos, obtidos por diferentes métodos de ajustamento das observações, para o intervalo entre as campanhas C12 e C13.....	74
Tabela 34 – Recalques máximos e mínimos, obtidos por diferentes métodos de ajustamento das observações, para o intervalo entre as campanhas C13 e C14.....	75
Tabela 35 – Velocidades máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias.....	75
Tabela 36 – Velocidades máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas por MMQ.....	75
Tabela 37 – Acelerações máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias.....	76
Tabela 38– Acelerações máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas por MMQ.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISSO	International Organization for Standardization
LITPEG	Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis.
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	JUSTIFICATIVA	18
3	OBJETIVOS.....	19
3.1	Objetivo Geral	19
3.2	Objetivos Específicos	19
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1	Redes Altimétricas.....	19
4.1.1	Datum	19
4.1.2	Altitude Elipsoidal e Altitude Ortométrica.....	20
4.1.3	A Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.....	21
4.1.4	Sistema Altimétrico Local	22
4.2	Nivelamento Geométrico.....	22
4.2.1	Princípio.....	22
4.2.2	Modalidades.....	24
4.2.3	Avaliação da Precisão de um Nivelamento Geométrico	24
4.2.4	Compensação do erro de fechamento – Método dos pesos das distâncias.....	26
4.2.5	Nivelamento geométrico de alta precisão.....	26
4.2.6	Efeitos da curvatura e refração atmosférica	27
4.3	Verificação e retificação de nível pelo método Kukkamäki.....	28
4.4	Ajustamento das Observações	29
4.4.1	Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).....	29
4.4.2	MMQ – Modelo Paramétrico	31
4.5	Medição de Recalque.....	35
4.5.1	Conceitos Fundamentais.....	35
4.5.2	Interação solo-estrutura	36
5	METODOLOGIA.....	37
5.1	Área de Estudo.....	37
5.2	Materiais.....	37

5.3	Métodos.....	38
5.3.1	Instrumentação.....	38
5.3.2	Medição	39
5.3.3	Processamento	43
5.3.4	Análise	48
6	RESULTADOS	48
6.1	Campanha de medição C12: 18/05/2017	48
6.2	Campanha de medição C13: 02/08/2017	57
6.3	Campanha de medição C14: 01/11/2017	63
6.4	Recalques.....	69
6.4.1	Recalque entre as campanhas de medição C12 e C13.....	69
6.4.2	Recalque entre as campanhas de medição C13 e C14.....	72
6.4.3	Análises dos recalques.....	75
7	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a NBR 6122, recalque é o movimento vertical descendente de um elemento estrutural (ABNT, 2010) e sua medição consiste em um tipo de auscultação geodésica, cuja realização depende do conhecimento de algumas áreas acadêmicas, das quais se pode destacar as de Engenharia e Geologia, devido à influência da interação solo-estrutura no deslocamento vertical do objeto. Segundo Silva e Segantine (2015), o termo “auscultar uma estrutura” refere-se à realização de medições de controle dimensional com o objetivo de conhecer o seu comportamento ao longo do tempo, uma vez que praticamente todas as grandes obras civis requerem o acompanhamento de rotina ou medições das condições críticas de carga.

O solo sobre o qual será projetada a estrutura é alvo de investigações que antecedem o início do projeto de fundação. Entretanto, devido à sua dinâmica, é difícil quantificar o valor exato do movimento da edificação durante toda a sua vida útil. Por isso, é recomendável a medição do recalque. Esta vai retratar, a qualquer tempo, a situação real do deslocamento vertical para que se possa tomar as devidas providências. De acordo com a NBR 6122 (ABNT,2010), na construção de qualquer edificação deve ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar constituída por, no mínimo, sondagens a percussão (com SPT) visando a determinação de quatro elementos, a saber: estratigrafia e classificação dos solos, posição do nível d'água e índice de resistência a penetração.

Vale salientar que deslocamentos (horizontais, verticais e rotacionais) de estruturas são admissíveis, desde que não ultrapassem os limites definidos pelo projetista, caso contrário ocorrerá danos de maior ou menor grau ao prédio e aos seus usuários. Segundo Seixas, Seixas e Seixas (2009), os danos podem ser divididos em três grupos principais, são eles: danos visuais ou estéticos, que não acarretam risco de qualquer natureza; danos que comprometem o uso e a funcionalidade do prédio; danos estruturais, que trazem risco a segurança dos usuários.

A etapa primordial do monitoramento de qualquer objeto sobre a superfície terrestre é a determinação de sua posição em um determinado Sistema de Referência. Isso porque é preciso conhecer, em um determinado momento, a posição exata do objeto para que se possa mensurar o quanto ela está variando em função do tempo. Para isso são utilizados métodos topográficos e geodésicos de medição. Santos (1999) utiliza o termo estrutura geodésica para definir uma malha de vértices implantados no terreno e conectados entre si através de observações. Segundo

o autor, quando essa estrutura é utilizada com o propósito de controle de deformações, os deslocamentos dos seus vértices podem ser diretamente correlacionados aos deslocamentos do corpo sob investigação.

O método a ser adotado para fins de monitoramento de estruturas é escolhido, dentre outros fatores, em função do tipo de deslocamento que se deseja mensurar. Tratando-se da medição de recalque, a grandeza investigada, se refere às distâncias verticais de pontos de interesse relativas a uma superfície de referência. O método que possibilita o conhecimento dessa grandeza é denominado nivelamento e segundo Silva e Segantine (2015) e Kahmen e Faig (1988), subdivide-se em seis tipos, a saber: nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, nivelamento pela tecnologia GNSS, nivelamento a LASER, nivelamento hidrostático e nivelamento barométrico. Sendo este primeiro, o método utilizado nesta monografia, pois, como descrito em Erba et al. (2005), em casos de monitoramento de prédios por nivelamento geométrico, para que se possa executar de forma eficiente as tarefas, foram desenvolvidos os níveis de alta e altíssima precisão, que permitem estimar e/ou medir centésimo de milímetro nas leituras efetuadas em miras de invar de grande estabilidade.

O objeto de estudo desta monografia é o edifício LITPEG (Laboratório Integrado de Tecnologia, Petróleo, Gás e Biocombustíveis), localizado no *Campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A sua escolha ocorreu mediante à participação, durante a graduação, no projeto intitulado: Controle e Monitoramento de Recalques – Edifício em Construção do LITPEG / CTG / UFPE (SEIXAS e SEIXAS, 2015). Os dados trabalhados nesta monografia referem-se à três campanhas de medição (C12, C13 e C14), ocorridas nos meses de maio, agosto e novembro de 2017 (SEIXAS e SEIXAS, 2017a; SEIXAS e SEIXAS, 2017b; SEIXAS e SEIXAS, 2017c).

2 JUSTIFICATIVA

Tem-se observado um crescimento vertical das cidades, ou seja, a quantidade de famílias residentes em alguns metros quadrados aumentou devido aos edifícios prediais que vêm substituindo as unidades habitacionais individuais. Este é um fenômeno que merece a atenção de diversas áreas de estudo devido ao seu impacto social, econômico e ambiental. Além dos edifícios residenciais, o aumento da população gera demanda por edifícios comerciais, estruturas industriais, hospitais, dentre outros. Ou seja, esse crescimento acelerado requer

urgência na construção de novas obras, entretanto, não se pode negligenciar as etapas que garantem a segurança da estrutura e dos seus usuários. Visto isso e sendo o controle de recalque uma das medidas que buscam garantir a não ocorrência ou a minimização de danos às estruturas prediais, a presente monografia traz uma dedução lógica para a importância do monitoramento de edifícios prediais e aborda uma metodologia com ênfase na instrumentação, medição, processamento e análise.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Empregar uma metodologia para o monitoramento de estruturas de construção civil embasada nos princípios topográficos, geodésicos e de ajustamento das observações.

3.2 Objetivos Específicos

- Definir estruturas geodésicas para controle e verificação instrumental (nível digital) – Base de verificação e/ou retificação de níveis.
- Monitorar um edifício em construção utilizando o método topográfico/geodésico de nivelamento geométrico de alta precisão.
- Aplicar o ajustamento das observações, de modo a garantir a qualidade dos resultados.
- Conectar a Rede Altimétrica implantada ao *Datum* Vertical e Brasileiro.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Redes Altimétricas

4.1.1 Datum

O termo *datum* é entendido como sendo uma referência geométrica. O *datum* horizontal serve de referência para a determinação de coordenadas planimétricas, sendo definido por um

par de coordenadas geodésicas, por uma direção e por parâmetros definidores de um elipsoide de referência. O *datum* vertical serve de referência para a determinação de coordenadas altimétricas, mais especificamente para determinar altitudes ortométricas (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Os levantamentos altimétricos se realizam sempre a partir de uma Referência de Nível (RN) independentemente da superfície de referência que se adote. A cota e/ou altitude da RN é sempre conhecida devido a um dos seguintes motivos: foi determinada por algum dos órgãos incumbidos de executar o mapeamento oficial do país ou foi arbitrada por algum profissional. Neste último caso, ao arbitrar uma cota à RN, o profissional define a posição do plano *datum* (ERBA et al., 2005).

4.1.2 Altitude Elipsoidal e Altitude Ortométrica

A altitude elipsoidal (h) representa a separação entre a superfície física terrestre e a superfície elipsoidal ao longo da normal e pode ser calculada a partir das coordenadas cartesianas convenientemente referidas ao centro do elipsóide de referência. Enquanto que a altitude ortométrica (H) é a distância contada desde a superfície do geóide até o ponto na superfície física da Terra ao longo da linha vertical (FREITAS e BLITZKOW, 1999).

O modelo de ondulação geoidal permite a conversão de altitudes a partir do valor da ondulação (altura) geoidal (N). Na grande maioria dos trabalhos de posicionamento em obras de engenharia e levantamentos topográficos e geodésicos se faz necessária a determinação da altitude ortométrica, uma vez que a tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) fornece a altitude elipsoidal (ARANA, 2003) e a rede altimétrica oficial do Brasil fornece a altitude ortométrica. A Figura 1 mostra a posição das superfícies em que se baseia a relação das altitudes.

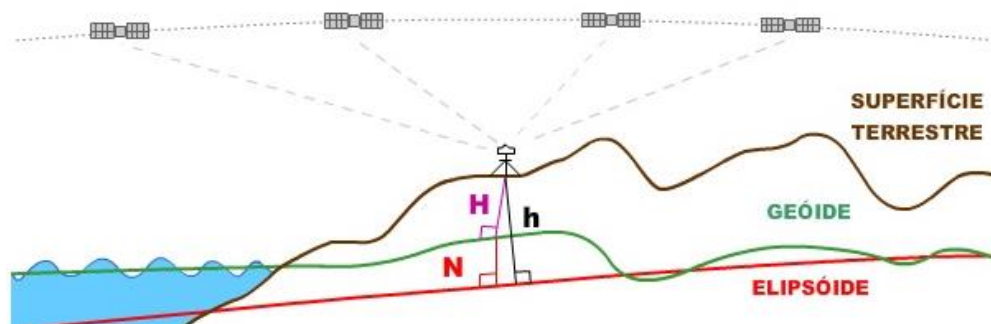


Figura 1. Conversão entre altitude elipsoidal (h), altitude ortométrica (H) e ondulação geoidal (N). Fonte: IBGE (2015).

A Equação (1) possibilita na prática a conversão de altitude elipsoidal (h) para altitude ortométrica (H) fazendo-se uso da ondulação geoidal (N).

$$H = h - N \quad (1)$$

4.1.3 A Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro

A rede altimétrica oficial do Brasil, denominada Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), faz parte do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e foi implementada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE por meio de campanhas de nivelamento geométrico. Grande parte dela está conectada ao *Datum* de Imbituba, definido pela estação maregráfica do porto da cidade de Imbituba, em Santa Catarina. Entretanto, uma pequena porção da rede altimétrica existente no estado do Amapá está conectada ao *Datum* Santana, definido pela estação maregráfica do porto da cidade de Santana, no Amapá (IBGE, 2011).

As estações da rede altimétrica implantadas pelo IBGE são denominadas Referências de Nível – RRNN. Elas vêm subsidiando obras de engenharia, que necessitam de informações sobre o relevo e sobre objetos que se movimentam sobre ele. São exemplos deste tipo de demanda as obras de irrigação, saneamento, distribuição de água, construção de barragens, rodovias, pontes, viadutos, além de atividades de monitoramento de estruturas.

4.1.3 Sistema Altimétrico Local

Segundo Cardoso (2005), as altitudes dos pontos que compõem um Sistema Altimétrico Local podem estar vinculadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) ou podem ser definidas pelos projetistas tomando como ponto de partida *benchmark's*, afloramentos rochosos, pilares, calçadas, soleiras de edificações, dentre outros. Sendo o mais importante a garantia da estabilidade do campo de pontos de referência e em especial em trabalhos de monitoramento de estruturas, uma vez que os deslocamentos são mensurados a partir de uma referência estável. Neste sentido, informações geológicas auxiliam na correta localização dos pontos de referência.

4.2 Nivelamento Geométrico

4.2.1 Princípio

Nivelamento Geométrico é o método que determina a diferença de nível entre pontos do terreno através de visadas horizontais, em miras posicionadas na vertical sobre os pontos, determinadas com um nível (ABNT, 1994). O procedimento em campo para realização do método, ilustrado na Figura 2, consiste primeiramente em instalar e nivelar o equipamento em um local com visibilidade para os pontos de interesse (A e B) e visar a mira posicionada verticalmente sobre o ponto A, denominada leitura de ré ($L_{r(A)}$). Em seguida deve ser feita a leitura da mira posicionada verticalmente sobre o ponto B, denominada leitura de vante ($L_{v(B)}$). Os valores lidos correspondem às distâncias verticais entre as bases das miras que tocam o terreno e o plano de referência (PR) estabelecido pelo equipamento. O PR é estabelecido à medida que a luneta gira em torno do eixo vertical do nível após este ter sido nivelado, o que o faz coincidir o seu eixo vertical com a vertical do lugar.

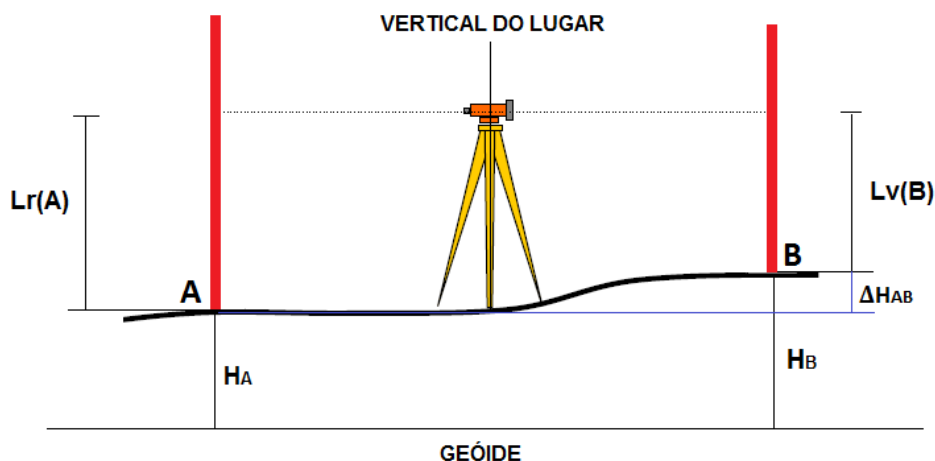


Figura 2. Princípio do nivelamento geométrico em sua composição básica. Fonte: adaptado de Silva e Segantine (2015).

Segundo Silva e Segantine (2015), o desnível entre os pontos A e B pode ser calculado de duas maneiras:

a) A partir das diferenças das leituras das miras:

Da geometria mostrada na Figura 2 é possível notar que a diferença entre as leituras das miras resulta no desnível entre os dois pontos e que este pode ser negativo ou positivo, conforme Equações (2) e (3).

$$\Delta H_{AB} = L_{v(B)} - L_{r(A)} \text{ (No caso da Figura 2, resulta em um valor positivo)} \quad (2)$$

$$\Delta H_{BA} = L_{r(A)} - L_{v(B)} \text{ (No caso da Figura 2, resulta em um valor negativo)} \quad (3)$$

Sabe-se também que o desnível pode ser calculado pela diferença de altitudes a partir das Equações (4) e (5), assim:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A \quad (4)$$

$$\Delta H_{BA} = H_A - H_B \quad (5)$$

O que resulta na Equação (6):

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = L_{v(B)} - L_{r(A)} \quad (6)$$

Logo, conhecendo-se a altitude H_A do ponto A, pode-se calcular a altitude H_B do ponto B utilizando a Equação (7):

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (7)$$

b) A partir do cálculo da altitude do plano de referência:

A altitude do plano de referência pode ser obtida a partir da soma da altitude do ponto A e a respectiva leitura da mira no mesmo ponto. Calculado este valor, deve-se subtrair dele a leitura da mira do ponto B para encontrar a altitude no ponto de vante, assim como demonstrado nas Equações (8) e (9):

$$H_{PR} = H_A + L_{r(A)} \quad (8)$$

$$H_B = H_{PR} - L_{v(B)} \quad (9)$$

4.2.2 Modalidades

O nivelamento geométrico se divide em duas modalidades, são elas: nivelamento geométrico simples, quando é feita apenas uma instalação do nível no terreno, e nivelamento geométrico composto, quando são necessárias várias instalações do nível no trecho a ser nivelado, sendo, portanto, uma sucessão de nivelamentos geométricos simples (KAHMEN e FAIG, 1988).

Quanto ao caminhamento, o nivelamento geométrico composto pode ser de caminhamento simples ou de caminhamento misto. A diferença entre os dois é que no caminhamento misto são realizadas leituras de pontos de interesse que não fazem parte do caminhamento, são os chamados pontos irradiados (SILVA e SEGANTINE, 2015).

4.2.3 Avaliação da Precisão de um Nivelamento Geométrico

Para que se possa contornar possíveis erros ocorridos durante a medição se faz necessário efetuar o fechamento do nivelamento, o qual pode ser feito de duas maneiras: partindo de uma Referência de Nível conhecida e chegando à outra ou voltando para a Referência de Nível de partida (ERBA et al., 2005). Esses dois procedimentos são denominados

nivelamento e contranivelamento, e nivelamento apoiado, respectivamente (SILVA e SEGANTINE, 2015). O erro de fechamento (E) e a precisão do nivelamento (S) podem ser obtidos a partir da Equações (10) e (11).

$$E = \sum L_R - \sum L_V \quad (10)$$

$$S = \sqrt{\frac{E^2}{2d}} \quad (11)$$

Onde,

E = erro de fechamento do nivelamento em mm;

$\sum L_R$ = somatório das leituras de ré em m;

$\sum L_V$ = somatório das leituras de vante em m;

S = precisão do nivelamento em mm/Km;

d = perímetro do trecho nivelado em Km.

Conhecido o erro de fechamento do nivelamento, o passo seguinte é verificar se o mesmo está dentro da tolerância preestabelecida. A grande maioria das normas adota a equação (11) para a avaliação da tolerância, a exemplo da NBR 13.133 (ABNT, 1994). A tolerância pode ser calculada em função da precisão do equipamento utilizado ou em função da precisão definida por dispositivo normativo (SILVA e SEGANTINE, 2015). Nesta monografia foram calculadas as tolerâncias para as duas situações: utilizando a precisão do nível utilizado (0,3 mm por km duplo nivelado) e a precisão estabelecida na norma ISO 17123 – parte 2 (2001) e NBR 13133 (ABNT, 1994), no valor de 1mm por km duplo nivelado para níveis de muita alta precisão.

$$T = k\sqrt{d} \quad (12)$$

Sendo,

T: tolerância do erro de fechamento do nivelamento geométrico em mm;

k: constante adotada em função da precisão considerada para o nivelamento;

d: comprimento total do trecho nivelado em km.

4.2.4 Compensação do erro de fechamento – Método dos pesos das distâncias

Se o erro de fechamento (E) for menor que a tolerância (T) ele poderá ser compensado sobre as medições de desníveis. Nesta monografia foi utilizado o método de compensação do erro de fechamento em função da distância (d_i) no desnível parcial (i), como demonstrado na Equação 13 (SILVA e SEGANTINE, 2015).

$$C_{Hi} = C_H (d_i / \sum d_i) \quad (13)$$

Sendo,

C_{Hi} = valor da compensação parcial do desnível (i);

C_H = valor total a ser compensado ($C_H = -E$);

d_i = distância do lance do desnível.

Logo, as altitudes corrigidas são calculadas por meio da Equação 14:

$$H_i = H_{i-1} + \Delta H_{i-1,i} + C_{Hi} \quad (14)$$

Sendo,

H_i = Altitude do ponto vante;

H_{i-1} = Altitude do ponto ré;

$\Delta H_{i-1,i}$ = Desnível entre os pontos ré e vante;

4.2.4 Nivelamento geométrico de alta precisão

Em algumas situações específicas, o profissional pode precisar realizar o nivelamento geométrico dito de alta precisão. São exemplos desse tipo de situação a medição de recalque de estruturas, o nivelamento de peças industriais, construções de barragens e construções complexas. Segundo Silva e Segantine (2015) e IBGE (1983), neste tipo de nivelamento, além do uso de equipamentos especiais, algumas precauções devem ser tomadas, a saber:

- Garantir a máxima igualdade entre as visadas de vante e de ré, que não devem se diferenciar mais que alguns decímetros.
- Evitar visadas longas, mantendo-as entre 25 e 50 metros de comprimento.
- Nunca realizar observações com linhas de visada abaixo de 50 centímetros em relação

ao nível do solo.

- Evitar locais onde ocorram vibrações com impacto no terreno sobre o qual o nível está instalado.
- Garantir estabilidade dos pontos de nivelamento.
- Evitar excessiva exposição no nível a luz do sol. O calor pode causar deformações nos seus componentes ópticos e metálicos.
- Efetuar séries de observações para controlar a qualidade dos valores observados.

4.2.5 Efeitos da curvatura e refração atmosférica

Toda observação está sujeita a erros de medição provenientes de imperfeições do equipamento, influências das condições do ambiente e da interferência humana (GEMAEL, 1994). Os efeitos da curvatura e a refração atmosférica são considerados erros ambientais (MOREIRA, 2003) e suas correções já se encontram embutidas no nível digital utilizado neste TCC.

Apesar da curvatura apresentada pela superfície terrestre, ao se trabalhar em áreas que se encontram dentro dos limites aceitos pela topografia é possível adotar um plano horizontal (*datum* plano) como referência. Entretanto, ao se trabalhar em grandes áreas, a curvatura terrestre deve ser considerada e o *datum* plano deixa de ser apropriado, situação essa mostrada na Figura 2 (ERBA et al., 2005).

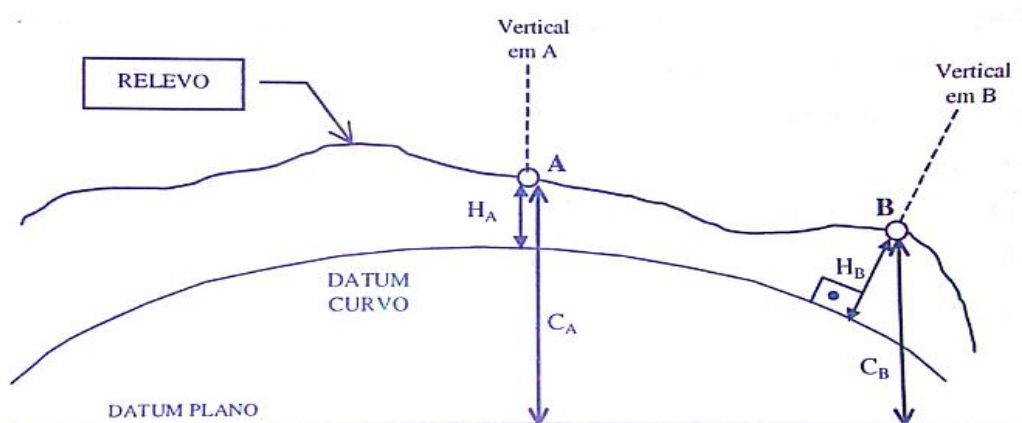


Figura 3. Influência da curvatura da terra no nivelamento entre dois pontos. Fonte: Erba et al. (2005).

Quanto à refração atmosférica, segundo Brunner (1984), as linhas de visadas são curvadas na direção em que há um aumento da densidade da atmosfera, que por sua vez, varia basicamente em função da temperatura. De acordo com Moreira (2013), o efeito da refração é minimizado, e pode ser negligenciado, realizando-se visadas equidistantes do nível. Entretanto esta suposição não é sempre válida, a exemplo de um terreno inclinado, onde a linha de visada atravessa camadas atmosféricas com temperaturas e densidades diferentes.

4.3 Verificação e retificação de nível pelo método Kukkamäki

Em qualquer medição com um nível a linha de visada deve ser perpendicular à direção do vetor gravidade no ponto em que o nível está instalado, o que acarreta uma linha de visada horizontal. O erro de colimação ocorre quando a linha de visada está inclinada para cima ou para baixo, formando um ângulo com a linha do horizonte e é proporcional a diferença das distâncias. Para lances com mesma distância de visada ré e vante esse erro é cancelado. Como nem sempre é possível obter lances com distâncias de visadas iguais torna-se necessário realizar a correção do erro de colimação antes de ir a campo (MOREIRA, 2003).

Khamen e Faig (1988), abordam um método para a correção do erro de colimação denominado Kukkamäki. Consiste em um alinhamento composto por duas estações (E1 e E2) e duas posições para a mira (A e B), onde a estação E1 está localizada a 10 metros de ambas as miras e a estação E2 está localizada a 40 m de A e a 20 m de B, conforme é mostrado na Figura 3. Da estação E1, obtém-se as leituras a_1 e b_1 , cujo erro de colimação, se existir, terá o mesmo valor (c) para ambas as leituras, logo, subtraindo-se os valores obtidos, o resultado será uma diferença de nível livre de erros. Entretanto, as leituras a_2 e b_2 , obtidas da estação E2, conterão erros proporcionais à distância da mira, que neste caso será, leitura a_2 com erro equivalente a $4c$ e leitura b_2 com erro equivalente a $2c$. Com isto, pode-se determinar o valor do erro de colimação c utilizando as Equações (15) e (16):

$$a_2 = \Delta h + b_2 + 2c = b_2 + a_1 - b_1 + 2c \quad (15)$$

ou

$$2c = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad (16)$$

Constatado o erro de colimação, deve-se operar nos fios do retículo do equipamento, deslocando sua posição de tal forma que as leituras das resultantes das Equações (17) e (18) sejam obtidas:

$$a'_2 = a_2 - 4c \quad (17)$$

$$b'_2 = b_2 - 2c \quad (18)$$

Chega-se, portanto, a Equação (19):

$$a'_2 - b'_2 = a_1 - b_1 = \Delta h \quad (19)$$

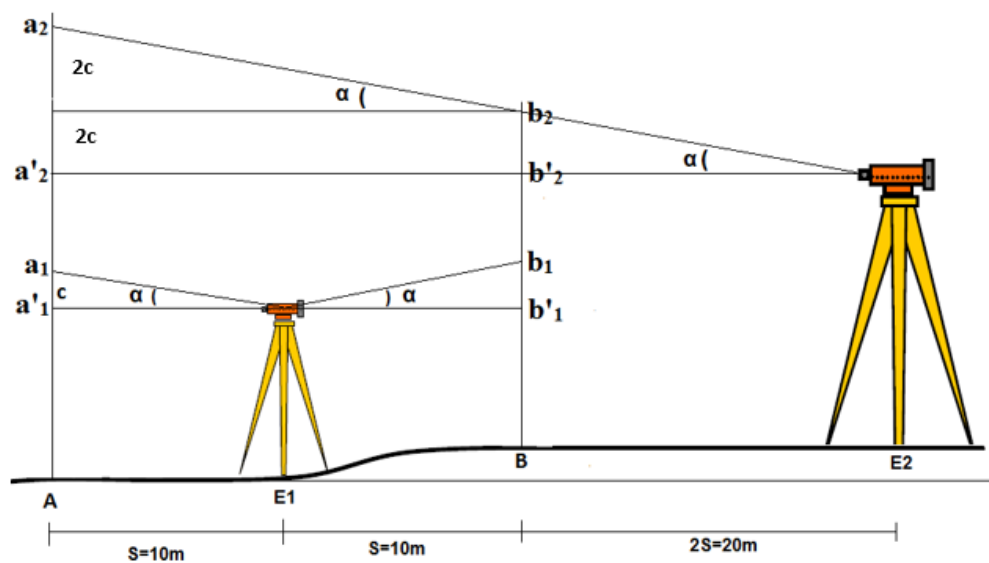


Figura 4. Configuração da base de verificação e/ou retificação para o Método Kukkamäki. Fonte: adaptado de Kahmen e Faig (1988).

4.4 Ajustamento das Observações

4.4.1 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

Para entendimento do Método dos Mínimos Quadrados, Gemael (1994), aponta o caso em que é feita a medição direta de uma grandeza x . Os valores obtidos em uma série de n observações são:

$$l_1, l_2, \dots, l_n$$

Com base em um critério pré-estabelecido, o valor de x é estimado de forma confiável, devido à impossibilidade de obtenção do seu valor real. Calculando as diferenças entre o valor estimado e os valores observados, chega-se ao valor dos resíduos (v_i), como demonstrado na Equação (20):

$$\begin{aligned} x - l_1 &= v_1 \\ x - l_2 &= v_2 \\ &\dots\dots\dots \\ x - l_n &= v_n \end{aligned} \tag{20}$$

De forma geral tem-se a Equação (21) :

$$x - l_i = v_i \quad i = 1, 2, \dots, n; \tag{21}$$

Desta forma, tem-se que os resíduos são os valores desconhecidos que, quando somados às observações reproduzem o valor estimado.

Como x foi escolhido por meio de um critério de estimativa, se esse critério for alterado o conjunto de resíduos também sofrerá alteração. Logo, quando somados às observações resultarão em um valor x diferente daquele determinado segundo o critério anterior. O Método dos Mínimos Quadrados possibilita a extração de um valor único para representar a incógnita, definindo como melhor estimativa de x o valor que torna mínima a soma dos quadrados dos resíduos de acordo com a Equação (22):

$$\sum_{i=1}^n (v_i^2) = \text{mínimo} \tag{22}$$

E no caso das observações não oferecerem o mesmo nível de confiança, utiliza-se os pesos (p_i) como mostrado na Equação (23):

$$\sum_{i=1}^n (p_i v_i^2) = \text{mínimo} \tag{23}$$

4.4.2 MMQ – Modelo Paramétrico

No caso de medições diretas as incógnitas são os próprios valores observados ajustados. Entretanto, quando o caso envolve medições indiretas, deseja-se estimar grandezas que se vinculam às grandezas observadas, comumente designadas de parâmetros, o que explica o nome do modelo ser Modelo Paramétrico (GEMAEL, MACHADO e WANDRESEN, 2015). Serão apresentadas a seguir as equações de observação e as equações normais, envolvidas no modelo.

a) Equações de Observação

Voltando à situação anterior do resíduo, agora trabalhando com vetores, tem-se a Equação (24):

$$L_a = L_b + V \quad (24)$$

Onde,

L_a : vetor dos valores observados ajustados;

L_b : vetor dos valores observados;

V : vetor dos resíduos;

Trabalhando com os parâmetros, tem-se a Equação (25):

$$X_a = X_0 + X \quad (25)$$

Onde,

X_a : vetor dos parâmetros ajustados;

X_0 : vetor dos valores aproximados dos parâmetros;

X : vetor correção.

O ajustamento será processado pelo Modelo Paramétrico se satisfizer a condição da Equação (26):

$$L_a = F(X_a) \quad (26)$$

Substituindo o primeiro membro da Equação (26) pela Equação (24) e linearizando o segundo membro com a série de Taylor, obtém-se a Equação (27) a seguir:

$$L_b + V = F(X_0 + X) = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right| X \quad (27)$$

Definindo a função dos parâmetros aproximados como L_0 e a matriz das derivadas por A , tem-se as Equações (28) e (29):

$$L_0 = F(X_0) \quad (28)$$

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right| X \quad (29)$$

Tem-se que:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad (30)$$

$$V = AX + L_0 - L_b \quad (31)$$

Designando L como sendo:

$$L = L_0 - L_b \quad (32)$$

Chega-se a Equação (33), modelo matemático linearizado do método paramétrico:

$$V = AX + L \quad (33)$$

b) Equações Normais

Segundo Gemaél, Machado e Wandresen (2015), a forma quadrática fundamental quando minimizada se apresenta da forma da Equação (34).

$$\Phi = V^T P V = (AX + L)^T P (AX + L) = \min \quad (34)$$

Derivando a Equação (34) com relação a X e igualando a zero chega-se a Equação (37)

$$\frac{\partial \Phi}{\partial X} = 2A^T P A X + 2A^T P L = 0$$

(35)

$$A^T P A X + A^T P L = 0 \quad (36)$$

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (37)$$

Designando os termos da Equação (33) de N e U e substituindo na Equação (36):

$$N = A^T P A \quad (38)$$

$$U = A^T P L \quad (39)$$

$$N X + U = 0 \quad (40)$$

A solução da Equação (40) é dada pela Equação (41):

$$X = -N^{-1} U \quad (41)$$

Por fim, os parâmetros ajustados são resultado da Equação (42):

$$X_a = X_0 + X \quad (42)$$

c) Estimativa da precisão

Segundo Camargo (2000), a estimativa de um valor ou de um conjunto de valores deve vir acompanhada de um indicador de qualidade dos mesmos, o qual será fornecido por meio da Matriz Variância-Covariância (MCV). Gemael, Machado e Wandresen (2015) apontam também, como indicador de qualidade do ajustamento, a comparação entre a variância da unidade de peso a priori e a posteriori. A variância da unidade de peso a priori costuma ser estimada no ajustamento e não influencia o vetor das incógnitas, tendo sua influência sobre a matriz dos coeficientes normais (N).

A partir Equação (43) pode-se calcular a variância da unidade de peso a posteriori:

$$\hat{\sigma}_0^2 = (V^t P V) / GL \quad (43)$$

Sendo,

$\hat{\sigma}_0^2$ = variância da unidade de peso a posteriori;

GL = graus de liberdade (n-u);

n = número de equações de observação;

u = número de incógnitas.

Nesta monografia a variância da unidade de peso a priori (σ_0^2) foi arbitrada para 1.

A MCV dos parâmetros ajustados é dada pela Equação (44):

$$\Sigma_a = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (44)$$

A MCV dos valores observados ajustados é dada pela Equação (45):

$$\Sigma_x = \sigma_0^2 A N^{-1} A^T \quad (45)$$

A MCV do vetor dos resíduos é dada pela Equação (46):

$$\Sigma_v = \sigma_0^2 P^{-1} - \Sigma_x \quad (46)$$

Se houver discrepância entre a variância da unidade de peso a priori e a posteriori deve ser aplicado um teste de hipótese baseado na distribuição de Qui-Quadrado para averiguar se a discrepância é significativa a um certo nível de confiança. Se essa discrepância for significativa há problemas no ajustamento.

Testando a hipótese básica: as variâncias a priori e a posteriori não diferem estatisticamente no nível de significância α .

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 \quad (47)$$

Testando a hipótese alternativa: as variâncias a priori e a posteriori diferem estatisticamente no

nível de significância α .

$$H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 \quad (48)$$

$$X^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} (n - u) \quad (49)$$

X^2 teórico com $\alpha=5\%$ e $(n - u)$ graus de liberdade:

$$\alpha/2 = 0,025 \quad (50)$$

$$1 - (\alpha/2) = 0,975 \quad (51)$$

Logo, na tabela do Qui-Quadrado devem ser consultados os valores:

$$X_{n-u;0,025}^2$$

$$X_{n-u;0,975}^2$$

A hipótese básica não é rejeitada ao nível de significância de 5% se:

$$X_{n-u;0,025}^2 < X^{*2} < X_{n-u;0,975}^2 \quad (52)$$

4.5 Medição de Recalque

4.5.1 Conceitos Fundamentais

Em estruturas onde as cargas mais importantes são verticais, a medição dos recalques constitui o recurso principal para a observação do desempenho da obra. Essa medição consiste na mensuração dos deslocamentos verticais de pinos implantados na estrutura, normalmente localizados em pilares, em relação a um ponto fixo denominado Referência de Nível (*benchmark*) que deve ser indeslocável. Os relatórios de medições de recalque devem conter no mínimo: data da leitura, recalques parciais e totais, velocidade do recalque e aceleração no período entre duas leituras, descrição do estado de carregamento da obra, metodologia utilizada e seus respectivos resultados e no primeiro relatório detalhes na Referência de Nível (ABNT, 2010).

De acordo com a ABNT (2010) tem-se os seguintes conceitos:

- Recalque Total: variação entre uma leitura qualquer e a primeira leitura realizada.
- Recalque Parcial: variação entre duas leituras consecutivas.
- Recalque Diferencial: relação entre as diferenças dos recalques de dois apoios e a distância entre eles.
- Distorção Angular: descreve a rotação de uma reta que une dois pontos diferentes de uma edificação.
- Velocidade de Recalque: relação entre o deslocamento vertical e um determinado intervalo de tempo.
- Aceleração de Recalque: relação entre a variação entre velocidades de recalques e um determinado intervalo de tempo.

4.5.2 Interação solo-estrutura

De acordo com Maia, Barros e Albuquerque Junior (2011), o sistema solo-fundação-estrutura é constituído por três partes, são elas: a superestrutura, a fundação (infra-estrutura) e o maciço de solo. A superestrutura é composta pelas lajes, vigas e pilares, além dos elementos de fachada e de divisão interna ou fechamento. As fundações desempenham a função de receber as cargas da superestrutura e transmiti-las de forma segura para o maciço de solo onde será projetada a obra. Segundo Colares (2006), a interação solo-estrutura é o mecanismo de influência mútua entre a superestrutura e o sistema de fundação. O processo tem início na fase de construção e permanece até que se atinja um estado de equilíbrio, em que as tensões e deformações estão estabilizadas, tanto na estrutura como no maciço de solos. Iwamoto (2000) simplifica o tema ao afirmar que na verdade o que existe é a estrutura e o maciço de solo, sendo as fundações parte integrante da estrutura, e o comportamento desse conjunto inseparável denomina-se interação solo-estrutura. Segundo o autor essa interação sofre influência do tempo, da rigidez da estrutura e do processo construtivo.

De acordo com a ABNT (2010), as estruturas sensíveis a recalques devem ser analisadas considerando-se a interação solo-estrutura e que na construção de qualquer edificação deve ser realizada uma campanha de investigação geotécnica preliminar constituída por no mínimo sondagens a percussão (com SPT) visando a determinação de quatro elementos, a saber: estratigrafia e classificação dos solos, posição do nível d'água e índice de resistência a penetração.

5 METODOLOGIA

5.1 Área de Estudo

A edificação predial monitorada está localizada no *Campus Recife* da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, no ponto de latitude $8^{\circ}3'16,5''S$ e longitude $34^{\circ}57'11,88''W$ fornecidas pelo *software* Google Earth no *datum* horizontal WGS84. A Figura 5 indica onde está sendo construído o edifício onde funciona o Laboratório Integrado de Tecnologia Petróleo, Gás e Biocombustíveis (LITPEG), a localização da base de calibração Kukkamaki e duas estações da rede cadastral da UFPE que ficam próximas ao edifício.

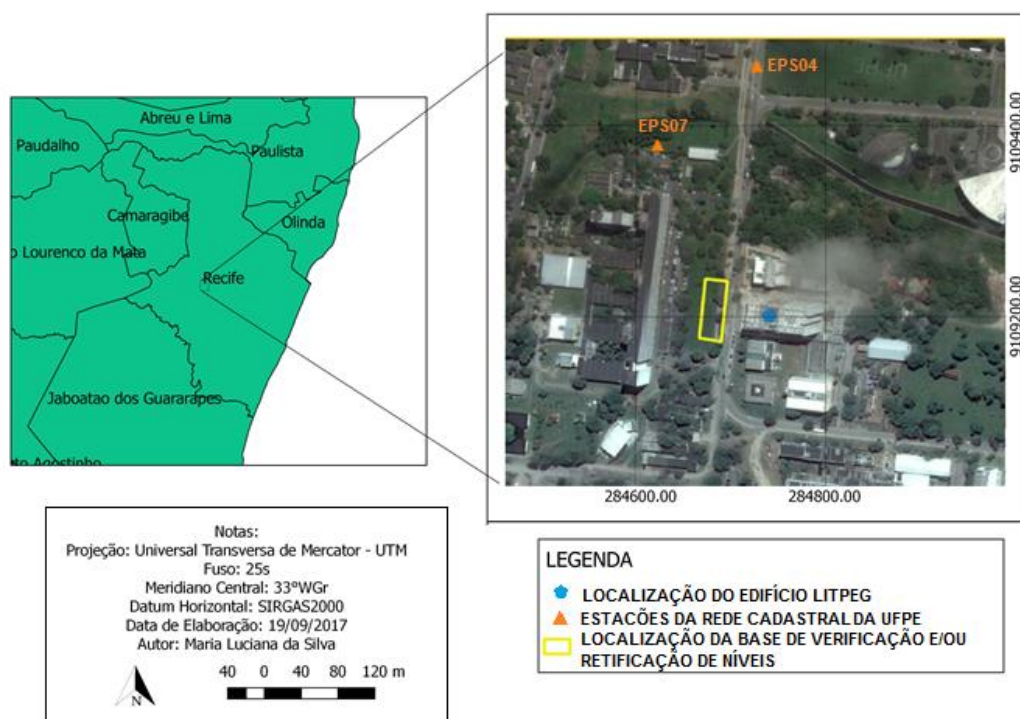


Figura 5. Mapa de Localização.

5.2 Materiais

- 01 Nível Digital Leica DNA 03: precisão de 0,3 mm por km duplo nivelado;
- 01 Mira de Ínvar com Código de Barras Leica de 2m;
- Acessórios para o levantamento, tais como: tripés, sapatas, pranchetas, cadernetas, calculadora científica, lanternas, capacetes e apoio logístico;
- Softwares: Excel (versão 2013); MATLAB (versão 8.1);
- Dados das campanhas de medição de maio (C12), agosto (C13) e novembro (C14) provenientes de Seixas e Seixas (2017a, 2017b e 2017c).

A Figura 6 mostra alguns dos equipamentos e acessórios utilizados pela equipe de medição. O Nível digital está indicado pelo número 1 e a mira de ínvar pelo número 2.



Figura 6. Alguns dos equipamentos e acessórios utilizados.

5.3 Métodos

5.3.1 Instrumentação

O procedimento metodológico para a medição do recalque do edifício LITPEG teve início com a materialização das Referências de Nível (RRNN) e dos pinos em alguns dos pilares da estrutura. Foram implantadas quatro RRNN, duas numa parede do prédio CTG (Centro de Tecnologias e Geociências) e outras duas bem próximas ao edifício LITPEG, são elas: RNRNCTG01, RNRNCTG02, RNLITPEG01 e RNLITPEG02, respectivamente. Uma base de verificação e retificação de níveis de luneta foi materializada em frente ao LITPEG de forma que se pudesse fazer a verificação e/ou retificação do nível um dia anterior a cada campanha de medição, seguindo as recomendações da ISO 17123-parte 1 (2001). Durante todas as campanhas de medição, o nível digital esteve configurado para realizar quatro leituras da mira, obedecendo uma amplitude de 0,06mm, caso contrário, uma nova série de leituras era realizada.

A Figura 7 ilustra a distribuição dos 43 pinos materializados nos pilares do LITPEG, dos quais, 41 estão em pilares do prédio principal do LITPEG e 2 estão em pilares do prédio da Unidade Piloto, são eles o B24 e B27.

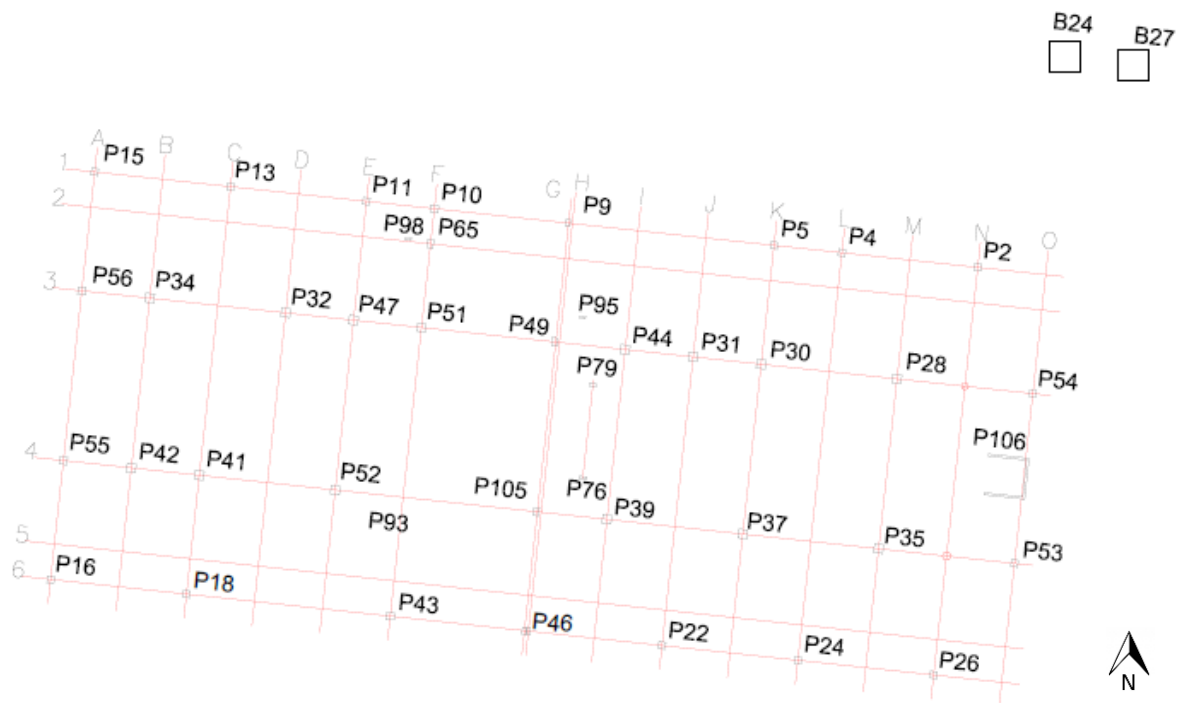


Figura 7. Distribuição dos pinos no LITPEG.

5.3.2 Medição

Em todas as campanhas a medição teve início por volta das 7 horas da manhã, horário em que a circulação de pessoas e veículos é pouco intensa nas proximidades do LITPEG. Os dados utilizados nesta monografia referem-se às campanhas de medição nas datas: 18/05/2017, 02/08/2017 e 01/11/2017.

A etapa inicial de cada campanha de medição consistiu no nivelamento e contranivelamento do trecho que vai de RNRNCTG01 à RNLITPEG01 e desta RNLITPEG01 retornando para a RNCTG01. Além destas, também estavam contidas no trecho as Referências de Nível RNA e RNB, pertencentes à base de verificação e/ou retificação de níveis de luneta. Esse trecho inicial possui duas finalidades: controle prévio da precisão da medição com a análise da tolerância do erro de fechamento de nivelamentos estabelecida pela NBR 13133 (ABNT, 1994); diminuição da possibilidade de interferência da dinâmica da obra no referencial

altimétrico adotado, uma vez que a altitude é transportada de uma Referência de Nível estável localizada fora da área de influência da construção. A Figura 8 ilustra o circuito inicial dispondo as setas no sentido do nivelamento, ou seja, o desnível considerado para efeitos de cálculo é resultado da altitude do ponto tocado pelo fim da seta menos a altitude do ponto tocado pela origem da seta.

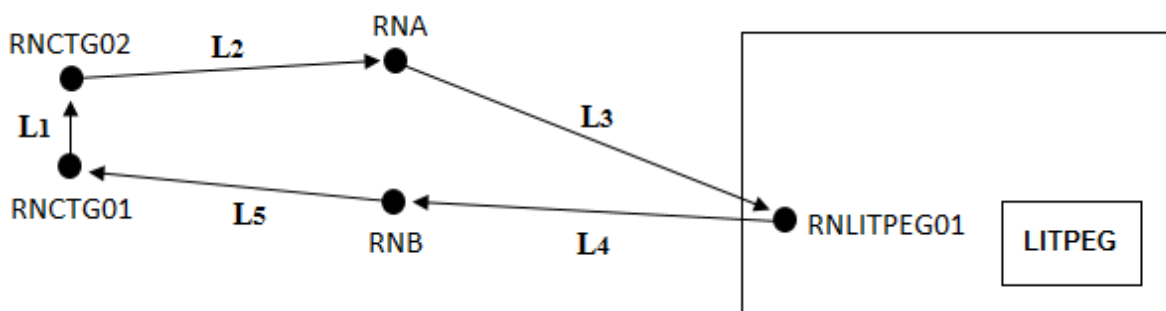


Figura 8. Configuração do circuito inicial. Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 9 ilustra o processo de medição do circuito inicial. Nela é possível ver três situações importantes durante o nivelamento, a saber: leitura da mira sobre a Referência de Nível de partida (RNRNCTG01) materializada na parede do CTG; leitura da mira sobre a RNA, pertencente a base Kukkamaki; chegada ao RNLITPEG01, de onde partirão os circuitos externo e interno ao LITPEG.



a) Leitura da mira sobre a RNRNCTG01.



b) Leitura da mira sobre a RNA.



c) Leitura da mira sobre a RNLITPEG01.

Figura 9. Fotos do nivelamento do circuito inicial.

Após realizado o nivelamento do trecho inicial, calculado o erro de fechamento e atendida à tolerância do experimento, seguiu-se para os circuitos posteriores: um externo e outro interno ao LITPEG. Estes outros dois circuitos partiram da RNLITPEG01e retornaram a ela, num procedimento de nivelamento e contranivelamento. No caminho percorrido até a chegada de volta à referência de partida foram medidos os pinos nos pilares do LITPEG até a RNLITPEG02 (Figura 9). As medições foram realizadas de forma que, sempre que possível, cada pilar aparecesse no mínimo duas vezes, sendo o seu pino medido a partir de duas direções distintas, o que garante um controle das altitudes calculadas. Ao final de cada circuito repetiu-se o procedimento de cálculo do erro de fechamento e verificação do atendimento à tolerância preestabelecida.

Houveram poucas variações de metodologia entre as campanhas de medição C12, C13 e C14. Isto porque optou-se por realizar, quando possível, o mesmo caminharmento da campanha antecedente. Entretanto, algumas situações no decorrer da obra fizeram com que alguns trechos dos circuitos sofressem pequenas alterações. São exemplos dessas situações: construção de paredes em trechos a serem nivelados e disposição de materiais em locais impróprios. Vale salientar que quando possível foi feita a retirada de materiais para que se pudesse manter o mesmo caminharmento da medição anterior. As Figuras 10 e 11 ilustram os circuitos nivelados na campanha C12, sendo estes praticamente idênticos aos nivelados nas campanhas C13 e C14. As Figuras 10 e 11 mostram apenas os pontos de ré e vante, entretanto, houveram irradiações em cada trecho, de modo a realizar a medição de todos os pinos implantados nos pilares do LITPEG.

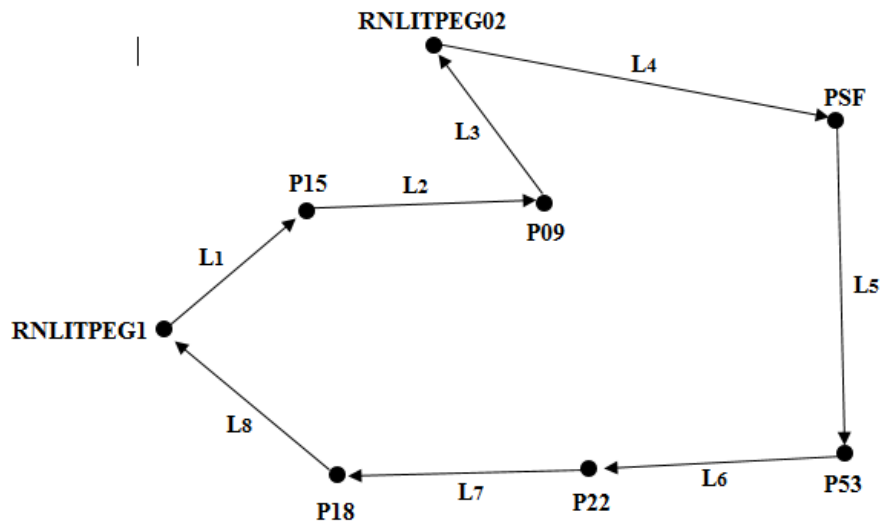


Figura 10. Configuração do circuito externo ao LITPEG. Fonte: elaborada pelo autor.

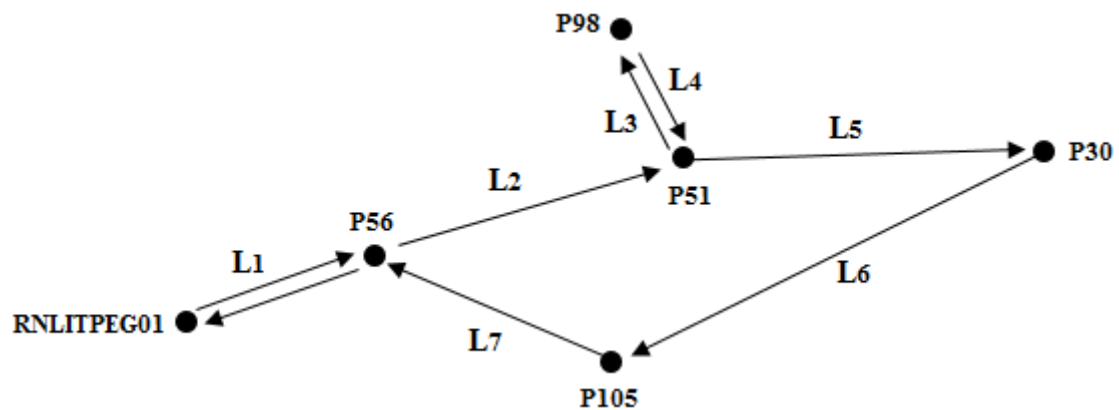


Figura 11. Configuração do circuito interno ao LITPEG. Fonte: elaborada pelo autor

Nas campanhas de medição C12 e C13, o trecho que vai da RNLITPEG01 até a RNLITPEG02 foi nivelado e contranivelado isoladamente antes dos nivelamentos dos circuitos externo e interno ao LITPEG, como ilustrado na Figura 12. Isso possibilitou calcular o erro de fechamento deste trecho antes de partir para os pinos nos pilares da estrutura.

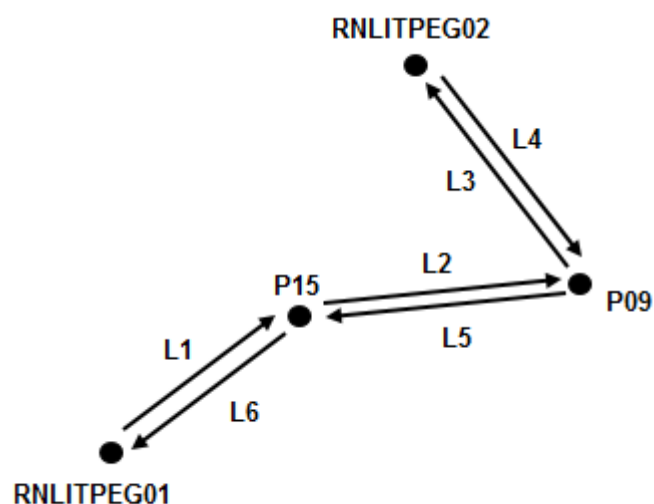


Figura 12. Configuração do nivelamento do trecho RNLITPEG01 à RNLITPEG02. Fonte: elaborada pelo autor

5.3.3 Processamento

Após o levantamento dos dados e preenchimento da caderneta de campo, foram confeccionadas planilhas eletrônicas no *software* EXCEL e implementados códigos no *software* MATLAB para o processamento dos dados. A Figura 13 consiste em um fluxograma com o roteiro de processamento.

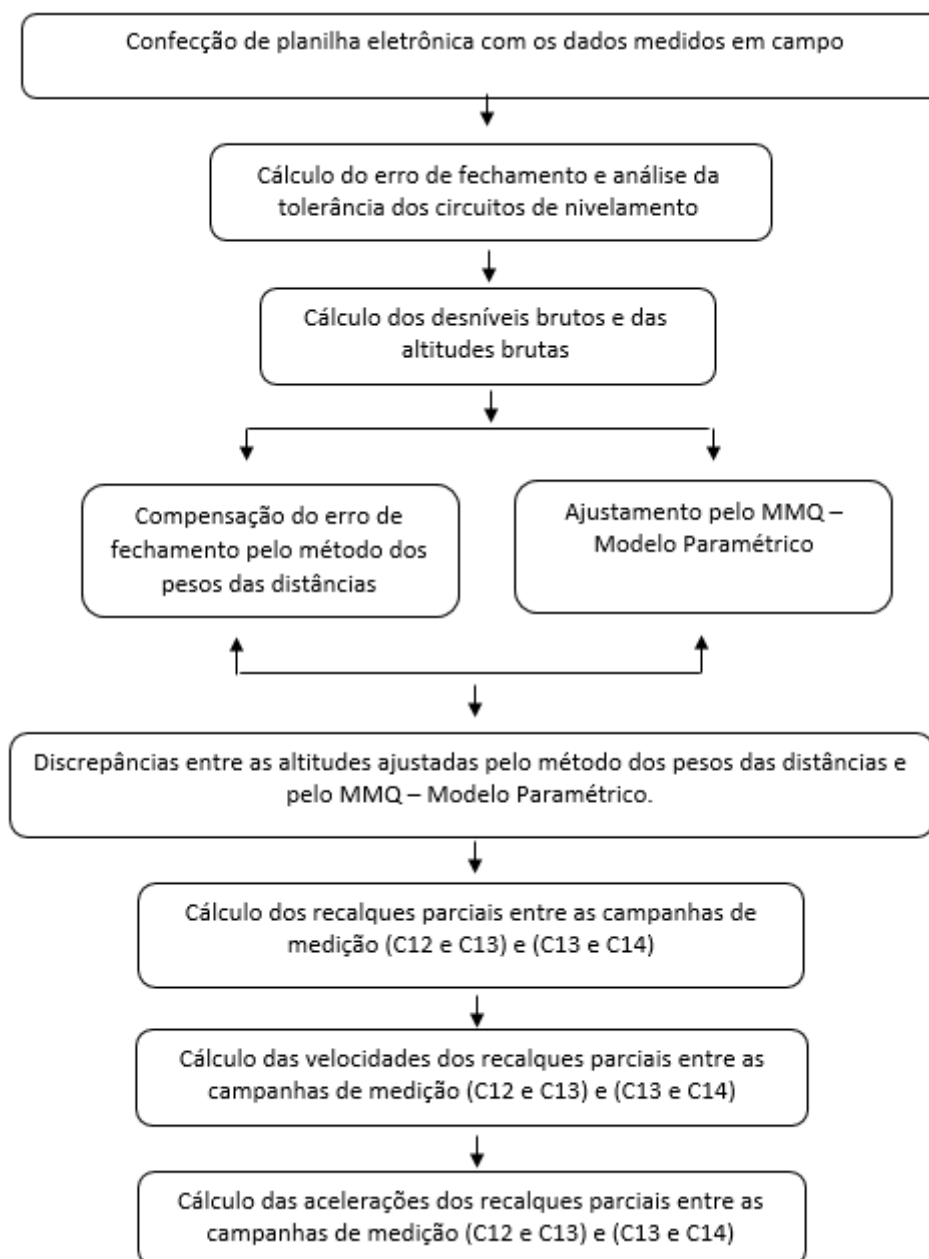


Figura 13. Fluxograma do processamento dos dados.

As altitudes brutas foram calculadas a partir da altitude do plano de referência, como mostrado no item 4.2.1 (letra b). O cálculo do erro de fechamento e análise da tolerância foram demonstrados no item 4.2.3. A compensação do erro de fechamento foi realizada conforme demonstrado no item 4.2.4. No item abaixo é demonstrado um exemplo de ajustamento pelo método MMQ – Modelo Paramétrico aplicado à rede de nivelamento. O exemplo escolhido é o trecho RNRNCTG01-RNLITPEG01 (nivelamento e contranivelamento).

➤ Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados – Modelo Paramétrico aplicado à rede

de nivelamento (Trecho RNRNCTG01-RNLITPEG01)

O circuito inicial (Figura 7) é constituído por 5 RRNN, sendo que 4 dessas RRNN (RNRNCTG02, RNA, RNLITPEG01 e RNB) tiveram suas altitudes estimadas no ajustamento. O levantamento foi amarrado a uma Referência de Nível cuja coordenada altimétrica foi injuncionada no ajustamento, trata-se da RNRNCTG01, a qual teve sua altitude obtida em Silva (2017). A seguir tem-se a explicação de cada item do processo de ajustamento.

➤ Vetor dos valores aproximados dos parâmetros (X_0)

Para criar valores aproximados para os parâmetros ((RNRNCTG02, RNA, RNLITPEG01 e RNB) realizou-se o cálculo das altitudes brutas a partir das altitudes dos planos de referência, como demonstrado no item 4.2.1 (letra b).

$$X_0 = \begin{bmatrix} H_{RNRNCTG02} \\ H_{RNA} \\ H_{RNLITPEG01} \\ H_{RNB} \end{bmatrix}_m = \begin{bmatrix} 9,77069 \\ 9,09991 \\ 8,57666 \\ 9,08416 \end{bmatrix}_m \quad (53)$$

➤ Vetor dos valores observados (L_b)

O vetor dos valores observados consiste nos desníveis brutos obtidos por meio da diferença entre as leituras de ré e as leituras de vante. Neste exemplo, como temos 5 linhas niveladas, o vetor L_b é composto por 5 desníveis. Vale salientar que para o ajustamento foram consideradas linhas os trechos entre duas RRNN, embora tenha sido necessário o uso de sapatas para o transporte de altitudes entre essas Referências de Nível. Logo, em algumas linhas, foi realizado o somatório de desníveis de trechos intermediados por sapatas.

$$L_b = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \end{bmatrix}_m = \begin{bmatrix} 0,03470 \\ -0,67078 \\ -0,52326 \\ 0,50751 \\ 0,65183 \end{bmatrix}_m \quad (54)$$

➤ Matriz dos coeficientes das incógnitas

A matriz A é constituída pelos coeficientes das incógnitas das equações de observação, as quais são escritas da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \Delta H_{\text{RNRNCTG01-RNRNCTG02}} = H_{\text{RNRNCTG02}} - H_{\text{RNRNCTG01}} \\
 L_2 &= \Delta H_{\text{RNRNCTG02-RNA}} = H_{\text{RNA}} - H_{\text{RNRNCTG02}} \\
 L_3 &= \Delta H_{\text{RNA-RNLITPEG01}} = H_{\text{RNLITPEG01}} - H_{\text{RNA}} \\
 L_4 &= \Delta H_{\text{RNLITPEG01-RNB}} = H_{\text{RNB}} - H_{\text{RNLITPEG01}} \\
 L_5 &= \Delta H_{\text{RNB-RNRNCTG01}} = H_{\text{RNRNCTG01}} - H_{\text{RNB}}
 \end{aligned} \tag{55}$$

Explicita-se abaixo a confecção da matriz A:

$$A = \begin{array}{c|ccccc} & \text{RNRNCTG02} & \text{RNA} & \text{RNLITPEG01} & \text{RNB} \\ \hline \text{L1} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{L2} & -1 & 1 & 0 & 0 \\ \text{L3} & 0 & -1 & 1 & 0 \\ \text{L4} & 0 & 0 & -1 & 1 \\ \text{L5} & 0 & 0 & 0 & -1 \end{array} \tag{56}$$

➤ Vetor das distâncias (d)

As distâncias referem-se as linhas niveladas entre as RRNN e podem ser obtidas somando-se as distâncias das visadas de ré e de vante. Um exemplo é a distância d1 entre RNRNCTG01 e RNRNCTG02, obtida da soma da distância entre o nível e a RNRNCTG01 (visada de ré) com a distância entre o nível e a RNRNCTG02 (visada de vante). O vetor das distâncias é necessário para confecção da matriz dos pesos.

$$d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{bmatrix}_{km} = \begin{bmatrix} 0,03099 \\ 0,06817 \\ 0,04038 \\ 0,03586 \\ 0,07298 \end{bmatrix}_{km} \tag{57}$$

- Vetor L_0 das observações calculadas em função dos valores aproximados dos parâmetros

O vetor L_0 é alimentado efetuando-se os cálculos das equações de observação, considerando os pontos com altitudes estimadas (vetor X_0) e os pontos com altitudes fixas (RNRNCTG01).

$$L_0 = f(X_0) = \begin{bmatrix} L_1^0 \\ L_2^0 \\ L_3^0 \\ L_4^0 \\ L_5^0 \end{bmatrix}_m = \begin{bmatrix} 0,03458 \\ -0,67078 \\ -0,52325 \\ 0,50751 \\ 0,65195 \end{bmatrix}_m \quad (58)$$

- Matriz dos pesos (P)

Os pesos no nivelamento geométrico são inversamente proporcionais aos comprimentos das linhas de nivelamento.

$$P = \begin{vmatrix} 1/d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/d_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/d_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/d_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/d_5 \end{vmatrix} \quad (59)$$

- Vetor das altitudes ajustadas (X_a)

De posse dos vetores e matrizes descritos anteriormente segue-se com o ajustamento para cálculo das altitudes ajustadas. Para isso, utiliza-se as equações já descritas no item 4.4.2 e repetidas abaixo:

$$L=L_0 - L_b$$

$$\left. \begin{array}{l} N=A^t P A \\ U=A^t P L \end{array} \right\} \text{ Sistema de equações normais.}$$

$$X=N^{-1}U$$

$$X_a=X_0+X$$

5.3.4 Análise

De posse das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e pelo MMQ – Modelo paramétrico, comparando-se suas precisões e discrepâncias, chegou-se a um conjunto confiável de dados utilizados para o monitoramento do movimento vertical do edifício LITPEG. Foram analisados os recalques parciais entre as campanhas de medição (C12 e C13) e (C13 e C14), além das respectivas velocidades e acelerações parciais dos recalques ocorridos nas épocas observadas.

6 RESULTADOS

6.1 Campanha de medição C12: 18/05/2017

A Tabela 1 apresenta os perímetros nivelados na campanha de medição C12, os erros de fechamento calculados em cada circuito e a tolerância utilizando tanto a precisão do equipamento ($k=0,3$) como a constante de alta precisão ($k=1$) estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001).

Tabela 1 – Perímetros dos trechos nivelados e erros de fechamento (campanha de medição: 18/05/2017)

Circuitos Nivelados	Perímetro do trecho nivelado - $\sum d_i$ (m)	Erro de fechamento (mm)	Tolerância com $k=0,3$ (mm)	Tolerância com $k=1$ (mm)
Circuito inicial	248,375	-0,120	$\pm 0,150$	$\pm 0,498$
Circuito intermediário	237,855	-0,100	$\pm 0,146$	$\pm 0,488$
Circuito externo ao LITPEG	300,890	-0,220	$\pm 0,165$	$\pm 0,549$
Circuito interno ao LITPEG	188,880	0,130	$\pm 0,130$	$\pm 0,435$

Os erros de fechamento dos quatro circuitos satisfazem a tolerância estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001). Os circuitos inicial, intermediário e interno satisfazem a tolerância estabelecida em função da precisão do equipamento.

As Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam as linhas, distâncias e desníveis brutos de cada circuito levantado na campanha de medição C12. Nelas estão presentes, além dos pontos de ré e vante, os pontos irradiados nos pilares da estrutura, cujas leituras não entram no cálculo do erro de fechamento e perímetro.

Tabela 2 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 18/05/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS BRUTOS (m)
RNRNCTG01-RNRNCTG02	30,99	0,034700
RNRNCTG02-RNA	68,17	-0,670780
RNA-RNLITPEG01	40,38	-0,523255
RNLITPEG01-RNB	35,86	0,507505
RNB-RNRNCTG01	72,98	0,651830

Tabela 3– Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito intermediário - campanha de medição: 18/05/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS BRUTOS (m)
RNLITPEG01-P15	22,27	1,196095
P15-P13	25,80	-0,008635
P15-P11	24,45	-0,020555
P15-P10	27,99	0,004540
P15-P09	36,96	0,021060
P09-P05	29,59	-0,004995
P09-P04	29,92	0,028345
P09-P02	35,96	0,048975
P09-B24	28,85	0,020205
P09-RN2	52,97	-0,295535
RN2-B24	44,00	0,315655
RN2-B27	52,52	0,534705
RN2-P02	46,83	0,344530
RN2-P04	48,07	0,323870
RN2-P05	51,58	0,290345
P05-P10	27,12	-0,011485
P05-P11	31,65	-0,036660
P11-P15	23,09	0,020650
P15-P56	16,54	-0,008430
P15-RNLITPEG01	19,35	-1,196055

Tabela 4 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS BRUTOS (m)
RNLITPEG01-P15	22,27	1,196095
P15-P13	25,80	-0,008635
P15-P11	24,45	-0,020555
P15-P10	27,99	0,004540
P15-P09	36,96	0,021060
P09-P05	29,59	-0,004995
P09-P04	29,92	0,028345
P09-P02	35,96	0,048975
P09-B24	28,85	0,020205
P09-RN2	52,97	-0,295535
RN2-B27	40,02	0,534790
B27-54	28,76	-0,220815
B27-106	32,27	-0,233920
B27-53	38,93	-0,287940
P53-P26	17,68	0,049965
P53-P24	27,45	-0,002985
P53-P22	37,42	0,036420
P22-P46	16,54	0,061180
P22-P105	23,39	-0,013365
P22-P43	20,03	-0,021155
P22-P18	35,06	-0,011675
P18-P16	17,08	0,017055
P18-P55	23,25	0,026540
P18-RNLITPEG01	37,27	-1,193435

Tabela 5 – Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS	DESNÍVEIS BRUTOS (m)
RNLITPEG01-P55	25,58	1,219660
RNLITPEG01-P56	16,07	1,187595
P56-P34	26,99	-0,053105
P56-P32	24,05	-0,009550
P56-P47	29,00	0,013770
P56-P51	33,98	0,024520
P51-P65	5,57	-0,000870
P51-P98	5,89	0,079495
P98-P51	5,89	-0,079525
P51-P49	10,06	-0,021785
P51-P76	19,06	-0,022575
P51-P79	13,61	-0,077580
P51-P44	14,93	-0,002280
P51-P31	19,93	0,016935
P51-P30	24,87	-0,013555
P30-P28	13,19	0,065930
P30-P35	29,26	0,037575
P30-P37	19,80	-0,011140
P30-P39	26,69	-0,015740
P30-P105	31,54	-0,006930
P105-P93	22,04	-0,004630
P105-P52	18,85	-0,057555
P105-P41	24,94	-0,006035
P105-P42	29,92	-0,049635
P105-P32	36,78	-0,013555
P105-P56	54,86	-0,003915
P56-RNLITPEG01	15,84	-1,187555

As Tabelas 6, 7, 8 e 9 apresentam as altitudes ajustadas por MMQ - Modelo paramétrico, com os seus respectivos desvios padrão obtidos no próprio ajustamento.

Tabela 6 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 18/05/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
RNRNCTG02	9,77081	±0,00000
RNA	9,10003	±0,00000
RNLITPEG01	8,57678	±0,00000
RNB	9,08428	±0,00000

Tabela 7 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito intermediário - campanha de medição: 18/05/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P15	9,77285	±0,00003
P13	9,76422	±0,00005
P11	9,75224	±0,00004
P10	9,77740	±0,00005
P09	9,79393	±0,00005
P05	9,78889	±0,00005
P04	9,82229	±0,00006
P02	9,84293	±0,00006
B24	9,81412	±0,00006
RN2	9,49844	±0,00006
B27	10,03315	±0,00009
P56	9,76442	±0,00005

Tabela 8 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P15	9,77288	±0,00003
P13	9,76425	±0,00005
P11	9,75233	±0,00005
P10	9,77742	±0,00005
P09	9,79396	±0,00004
P05	9,78896	±0,00006
P04	9,82230	±0,00006
P02	9,84293	±0,00006
B24	9,81416	±0,00006
B27	10,03327	±0,00004
P54	9,81245	±0,00006
P106	9,79935	±0,00006
P53	9,74537	±0,00005
P26	9,79533	±0,00006
P24	9,74238	±0,00007
P22	9,78182	±0,00005
P46	9,84300	±0,00006
P105	9,76846	±0,00006
P43	9,76067	±0,00006
P18	9,77018	±0,00004
P16	9,78723	±0,00005
P55	9,79672	±0,00006

Tabela 9 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 18/05/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P55	9,79644	±0,00002
P56	9,76437	±0,00002
P34	9,71127	±0,00003
P32	9,75482	±0,00003
P47	9,77814	±0,00003
P51	9,78888	±0,00003
P65	9,78801	±0,00003
P98	9,86838	±0,00003
P51	9,78885	±0,00003
P49	9,76707	±0,00003
P76	9,76628	±0,00003
P79	9,71127	±0,00003
P44	9,78657	±0,00003
P31	9,80563	±0,00003
P30	9,77529	±0,00003
P28	9,84122	±0,00004
P35	9,81287	±0,00004
P37	9,76415	±0,00004
P39	9,75955	±0,00004
P105	9,76828	±0,00002
P93	9,76365	±0,00002
P52	9,71072	±0,00003
P41	9,76224	±0,00003
P42	9,71864	±0,00003
P32	9,75472	±0,00003
P56	9,76434	±0,00002

Na Tabela 10 são apresentadas as altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e as altitudes ajustadas por MMQ, assim como as respectivas discrepâncias. Vale salientar que os pilares que apareceram mais de uma vez no caminharmento e que por isso tiveram suas altitudes calculadas a partir de pontos distintos, apresentam a altitude média na Tabela 10.

Tabela 10 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 18/05/2017).

(Continua)

PONTOS	Altitudes -Método dos pesos das distâncias (m)	Altitudes – MMQ (m)	Discrepância (m)
P106	9,79932	9,79935	0,00002
P54	9,81243	9,81245	0,00002
P09	9,79391	9,79394	0,00003
P24	9,74235	9,74238	0,00003
P26	9,79530	9,79533	0,00003
P53	9,74533	9,74537	0,00003
P02	9,84290	9,84293	0,00003
P04	9,82226	9,82229	0,00004
P13	9,76420	9,76423	0,00004
P41	9,76221	9,76224	0,00004
P42	9,71861	9,71864	0,00004
P52	9,71069	9,71072	0,00004
B27	10,03317	10,03321	0,00004
P105	9,76833	9,76837	0,00004
P22	9,78178	9,78182	0,00004
P46	9,84296	9,84300	0,00004
P43	9,76062	9,76067	0,00004
P93	9,76361	9,76365	0,00004
B24	9,81409	9,81414	0,00005
P18	9,77013	9,77018	0,00005
P16	9,78719	9,78723	0,00005
P44	9,78652	9,78657	0,00005
P49	9,76702	9,76707	0,00005
P76	9,76623	9,76628	0,00005
P79	9,71122	9,71127	0,00005
P32	9,75472	9,75477	0,00005
P55	9,79653	9,79658	0,00005
P15	9,77281	9,77287	0,00006
P05	9,78886	9,78892	0,00006
P34	9,71120	9,71127	0,00007
P47	9,77808	9,77814	0,00007
P11	9,75222	9,75229	0,00007
P10	9,77734	9,77741	0,00007
P56	9,76430	9,76438	0,00008
P65	9,78793	9,78801	0,00008
P51	9,78878	9,78887	0,00009
P98	9,86829	9,86838	0,00009
P28	9,84112	9,84122	0,00010
P30	9,77519	9,77529	0,00010

(Conclusão)

PONTOS	Altitudes -Método dos pesos das distâncias (m)	Altitudes – MMQ (m)	Discrepância (m)
P35	9,81277	9,81287	0,00010
P37	9,76405	9,76415	0,00010
P39	9,75945	9,75955	0,00010
P31	9,80574	9,80563	0,00011

6.2 Campanha de medição C13: 02/08/2017

A Tabela 11 apresenta os perímetros nivelados na campanha de medição C13, os erros de fechamento calculados em cada circuito e a tolerância utilizando tanto a precisão do equipamento ($k=0,3$) como a constante de alta precisão ($k=1$) estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001).

Tabela 11 – Perímetros dos trechos nivelados, erros de fechamento e tolerâncias
(campanha de medição: 02/08/2017)

Nivelamento e Contranivelamento	Perímetro do trecho nivelado - $\sum d_i$ (m)	Erro de fechamento - E (mm)	Tolerância para E ($k=0,3$)	Tolerância para E ($k=1$)
Circuito inicial	250,065	-0,100	0,150	0,500
Circuito intermediário	191,925	-0,105	0,131	0,438
Circuito externo ao	312,710	-0,295	0,168	0,559
Circuito interno ao	194,165	0,065	0,132	0,441

Os erros de fechamento dos quatro circuitos satisfazem a tolerância estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001) para nivelamento de alta precisão. Os erros de fechamento dos circuitos inicial, intermediário e o interno ao LITPEG satisfazem a tolerância calculada em função da precisão do equipamento.

As Tabelas 12, 13, 14 e 15 apresentam as distâncias das linhas niveladas e os desníveis brutos dos circuitos nivelados na campanha de medição C13.

Tabela 12 - Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 02/08/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS
CTG1-CTG2	31,65	0,03474
CTG2-RNA	67,57	-0,66813
RNA-RNLITPEG01	41,49	-0,52481
RNLITPEG01-RNB	37,88	0,50888
RNB-CTG1	71,48	0,64923

Tabela 13 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito intermediário - campanha de medição: 02/08/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
RNLITPEG01-P56	22,05	1,18456
RNLITPEG01-P15	19,98	1,19289
P15-P13	27,40	-0,00874
P15-P11	24,27	-0,02131
P15-P10	27,56	0,00365
P15-P9	36,53	0,02057
P9-RN2	40,29	-0,29157
RN2-P9	37,84	0,29157
P9-P10	27,50	-0,01687
P9-P11	24,26	-0,04187
P9-P13	27,55	-0,02941
P9-P15	36,55	-0,02066
P15-RNLITPEG01	20,75	-1,19291

Tabela 14 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
RNLITPEG01-P56	22,05	1,18455
RNLITPEG01-P15	19,98	1,19289
P15-P13	27,40	-0,00874
P15-P11	24,27	-0,02131
P15-P10	27,56	0,00365
P15-P9	36,53	0,02057
P09-RN2	40,29	-0,29157
RN2-P09	37,84	0,29157
P09-P05	19,98	-0,00426
P09-P04	22,29	0,02949
P9-P2	31,23	0,05077
P2-B24	22,80	-0,02772
P2-B27	18,25	0,19139
P2-P54	22,59	-0,03073
P54-P106	12,67	-0,01245
P54-P53	14,94	-0,06646
P53-P106	29,08	0,05379
P53-P26	17,78	0,05002
P53-P24	27,59	-0,00359
P24-P22	44,68	0,03848
P24-P46	35,38	0,09951
P24-P43	32,79	0,01697
P24-P18	46,00	0,02660
P24-P16	55,78	0,04422
P16-P55	16,07	0,00901
P16-RNLITPEG01	26,21	-1,20797

Tabela 15 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017) (Continua)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
RNLITPEG01-P56	15,78	1,18446
P56-P34	30,06	-0,05362
P56-P32	25,89	-0,01026
P56-P47	30,86	0,01268
P56-P51	35,85	0,02364
P51-P65	5,56	-0,00091
P51-P98	5,90	0,07952
P98-P65	4,94	-0,08045
P98-P51	5,90	-0,07950
P51-P76	19,40	-0,02228
P51-P79	13,88	-0,07752

(Conclusão)		
LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
P51-P49	10,16	-0,02171
P51-P44	15,00	-0,00212
P51-P31	19,97	0,01751
P51-P30	24,89	-0,01285
P30-P28	13,20	0,06668
P30-P35	29,07	0,03866
P30-P37	19,48	-0,01074
P30-P39	26,68	-0,01578
P30-P105	31,54	-0,00711
P105-P93	21,43	-0,00474
P105-P52	18,42	-0,05764
P105-P42	29,93	-0,04933
P105-P41	24,96	-0,00591
P105-P55	59,71	0,02877
P105-P56	59,18	-0,00370
P56-RNLITPEG01	15,13	-1,18441

As Tabelas 16, 17, 18 e 19 apresentam as altitudes resultantes do ajustamento das observações por MMQ – Modelo paramétrico, com os seus respectivos desvios padrão obtidos no próprio ajustamento.

Tabela 16 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 02/08/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
RNCTG02	9,77086	±0,00003
AUX2 (A)	9,10275	±0,00005
RN01	8,57796	±0,00005
AUX5 (B)	9,08685	±0,00005

Tabela 17 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito intermediário - campanha de medição: 02/08/2017)

PONTOS/RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P56	9,76252	±0,00003
P15	9,77086	±0,00002
P13	9,76207	±0,00004
P11	9,74956	±0,00004
P10	9,77456	±0,00003
P09	9,79144	±0,00003
RN2	9,49987	±0,00005

Tabela 18 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017)

PONTOS/RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P56	9,76250	±0,00007
P15	9,77086	±0,00006
P13	9,76212	±0,00009
P11	9,74955	±0,00009
P10	9,77450	±0,00009
P09	9,79143	±0,00005
P05	9,78718	±0,00008
P04	9,82093	±0,00009
P02	9,84220	±0,00010
B24	9,81448	±0,00012
B27	10,03359	±0,00011
P54	9,81147	±0,00012
P106	9,79898	±0,00013
P53	9,74507	±0,00013
P26	9,79509	±0,00014
P24	9,74171	±0,00013
P22	9,78019	±0,00016
P46	9,84122	±0,00016
P43	9,75869	±0,00015
P18	9,76831	±0,00016
P16	9,78593	±0,00007
P55	9,79494	±0,00009

Tabela 19 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 02/08/2017)

RRNN	ALTITUDES	DESVIO
P56	9,76238	±0,00003
P34	9,70876	±0,00008
P32	9,75212	±0,00007
P47	9,77506	±0,00008
P51	9,78602	±0,00005
P65	9,78510	±0,00004
P98	9,86554	±0,00004
P76	9,76374	±0,00007
P79	9,70850	±0,00007
P49	9,76431	±0,00006
P44	9,78390	±0,00007
P31	9,80353	±0,00007
P30	9,77313	±0,00007
P28	9,83981	±0,00008
P35	9,81179	±0,00010
P37	9,76239	±0,00009
P39	9,75735	±0,00009
P105	9,76595	±0,00007
P93	9,76121	±0,00009
P52	9,70831	±0,00009
P42	9,71662	±0,00010
P41	9,76004	±0,00010
P55	9,79472	±0,00012

A Tabela 20 apresenta as altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e altitudes ajustadas por MMQ, assim como as respectivas discrepâncias, provenientes da campanha de medição C13, em agosto de 2017.

Tabela 20 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 18/05/2017).

(Continua)			
PONTOS	Método dos pesos	MMQ	Discrepância
P02	9,84235	9,84220	0,00015
P04	9,82104	9,82093	0,00012
P05	9,78729	9,78718	0,00012
P09	9,79150	9,79144	0,00006
P10	9,77454	9,77453	0,00001
P105	9,76611	9,76595	0,00015
P106	9,79910	9,79898	0,00012
P11	9,74957	9,74955	0,00001
PONTOS	Método dos pesos	MMQ	Discrepância

(Conclusão)

P13	9,76210	9,76210	0,00000
P15	9,77087	9,77086	0,00002
P16	9,78592	9,78593	0,00001
P18	9,76824	9,76831	0,00007
P22	9,78012	9,78019	0,00007
P24	9,74164	9,74171	0,00007
P26	9,79522	9,79509	0,00013
P28	9,83991	9,83981	0,00010
P30	9,77323	9,77313	0,00010
P31	9,80359	9,80353	0,00006
P32	9,75218	9,75212	0,00006
P34	9,70882	9,70876	0,00006
P35	9,81189	9,81179	0,00011
P37	9,76249	9,76239	0,00010
P39	9,75745	9,75735	0,00011
P41	9,76019	9,76004	0,00015
P42	9,71677	9,71662	0,00015
P43	9,75861	9,75869	0,00007
P44	9,78396	9,78390	0,00006
P46	9,84115	9,84122	0,00007
P47	9,77512	9,77506	0,00006
P49	9,76437	9,76431	0,00006
P51	9,78607	9,78602	0,00005
P52	9,70847	9,70831	0,00015
P53	9,74520	9,74507	0,00013
P54	9,81164	9,81147	0,00017
P55	9,79490	9,79483	0,00007
P56	9,76246	9,76247	0,00000
P65	9,78606	9,78510	0,00096
P76	9,76381	9,76374	0,00007
P79	9,70856	9,70850	0,00006
P93	9,76137	9,76121	0,00015
P98	9,86559	9,86554	0,00005
B27	10,03373	10,03359	0,00015
B24	9,81463	9,81448	0,00015

6.3 Campanha de medição C14: 01/11/2017

A Tabela 21 apresenta os perímetros nivelados na campanha de medição C14, os erros de fechamento calculados em cada circuito e a tolerância utilizando tanto a precisão do equipamento ($k=0,3$) como a constante de alta precisão ($k=1$) estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001).

Tabela 21– Perímetros dos trechos nivelados, erros de fechamento e tolerâncias (campanha de medição: 01/11/2017)

Nivelamento e Contranivelamento	Perímetro do trecho nivelado - $\sum d_i$ (m)	Erro de fechamento - E (m)	Tolerância com $k=0,3$ (mm)	Tolerância com $k=1$ (mm)
Circuito inicial	248,375	0,205	0,150	0,498
Circuito externo ao	315,030	-0,005	0,168	0,561
Circuito interno ao	200,335	0,190	0,134	0,448

Os erros de fechamento dos três circuitos nivelados atendem a tolerância estabelecida pela ISO 17123 - parte 1 (2001). O erro de fechamento do circuito externo atendeu a tolerância estabelecida em função da precisão do equipamento.

As Tabelas 22, 23 e 24 apresentam as distâncias das linhas niveladas na campanha de medição C14, assim como os desníveis brutos correspondentes a cada linha.

Tabela 22 - Linhas, distâncias e desníveis brutos (circuito inicial - campanha de medição: 01/11/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS BRUTOS (m)
CTG1-CTG2	30,99	0,03467
CTG2-RNA	68,17	-0,66930
RNA-RNLITPEG01	40,38	-0,52478
RNLITPEG01-RNB	35,86	0,50890
RNB-CTG1	72,98	0,65072

Tabela 23- Linhas, distâncias e desníveis (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
RNLITPEG01-P56	22,41	1,18303
RNLITPEG01-P15	20,68	1,19161
P15-P13	17,14	-0,00957
P15-P11	23,15	-0,02224
P11-P10	27,65	0,02491
P11-P09	22,53	0,04186
P11-P05	32,69	0,03816
P05-RNLITPEG02	35,59	-0,28591
RNLITPEG02-P05	35,63	0,28599
RNLITPEG02-P04	39,11	0,32000
P04-P02	25,06	0,02171
P04-B24	30,84	-0,00553
P04-B27	26,51	0,21434
P04-P54	31,91	-0,00857
P54-P106	18,27	-0,01275
P54-P53	20,57	-0,06663
P53-P26	20,72	0,04996
P53-P24	29,87	-0,00402
P53-P22	39,66	0,03415
P22-P46	34,04	0,06040
P22-P105	38,36	-0,01455
P22-P43	25,31	-0,02199
P22-P18	35,45	-0,01152
P22-P16	45,32	0,00623
P16-P55	16,52	0,00876
P16-P56	26,57	-0,02383

Tabela 24 - Linhas, distâncias e desníveis (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017) (Continua)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
RNLITPEG01-P56	27,04	1,18282
RNLITPEG01-P15	21,42	1,19136
P15-P34	19,99	-0,06239
P15-P32	23,67	-0,01942
P15-P47	28,66	0,00363
P15-P51	33,66	0,01444
P51-P65	5,56	-0,00073
P65-P98	4,59	0,08050
P65-P51	5,56	0,00084
P51-P76	18,83	-0,02186

(Conclusão)

LINHAS	DISTÂNCIAS (m)	DESNÍVEIS (m)
P51-P79	13,50	-0,07702
P51-P49	10,06	-0,02177
P51-P44	14,96	-0,00186
P51-P31	19,92	0,01787
P51-P30	24,85	-0,01194
P30-P28	13,09	0,06723
P30-P35	29,72	0,03930
P30-P37	20,49	-0,01064
P30-P39	27,49	-0,01594
P30-P105	32,33	-0,00741
P105-P93	21,41	-0,00474
P105-P52	18,43	-0,05791
P105-P42	29,94	-0,04893
P105-P41	24,96	-0,00580
P105-P34	44,02	-0,05715
P105-P15	56,73	0,00506
P15-RNLITPEG01	20,23	-1,19142

As Tabelas 25, 26 e 27 apresentam as altitudes ajustadas por MMQ e os seus respectivos desvios padrão, provenientes da campanha de medição C14.

Tabela 25 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito inicial - campanha de medição: 01/11/2017)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
RNRNCTG02	9,77075	±0,00007
RNA	9,10140	±0,00010
RNLITPEG01	8,57658	±0,00010
RNB	9,08546	±0,00009

Tabela 26 – Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito externo ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017)

PONTOS/RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P56	9,75959	±0,00003
P15	9,76820	±0,00003
P13	9,75863	±0,00004
P11	9,74597	±0,00004
P10	9,77088	±0,00006
P09	9,78783	±0,00006
P05	9,78413	±0,00005
RNLITPEG02	9,49819	±0,00006
P04	9,81819	±0,00006
P02	9,83990	±0,00007
B24	9,81266	±0,00007
B27	10,03253	±0,00007
P54	9,80963	±0,00006
P106	9,79687	±0,00007
P53	9,74300	±0,00006
P26	9,79296	±0,00007
P24	9,73898	±0,00007
P22	9,77716	±0,00005
P46	9,83756	±0,00007
P105	9,76262	±0,00007
P43	9,75518	±0,00006
P18	9,76564	±0,00007

Tabela 27– Altitudes ajustadas por MMQ e seus respectivos desvios padrão (circuito interno ao LITPEG - campanha de medição: 01/11/2017)
(Continua)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P56	9,75940	±0,00011
P15	9,76797	±0,00007
P34	9,70558	±0,00011
P32	9,74855	±0,00012
P47	9,77160	±0,00013
P51	9,78238	±0,00012
P65	9,78159	±0,00013
P98	9,86209	±0,00013
P76	9,76052	±0,00015
P79	9,70536	±0,00014
P49	9,76061	±0,00014

(Conclusão)

RRNN	ALTITUDES AJUSTADAS (m)	DESVIO PADRÃO (m)
P44	9,78052	±0,00015
P31	9,80025	±0,00015
P30	9,77042	±0,00014
P28	9,83765	±0,00016
P35	9,80972	±0,00018
P37	9,75978	±0,00017
P39	9,75447	±0,00017
P105	9,76298	±0,00014
P93	9,75823	±0,00017
P52	9,70507	±0,00016
P42	9,71405	±0,00018
P41	9,75717	±0,00017

A Tabela 28 contém as altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, as altitudes ajustadas por MMQ e suas respectivas discrepâncias.

Tabela 28 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, altitudes ajustadas por MMQ e as respectivas discrepâncias (campanha de medição: 01/11/2017).

(Continua)

PONTOS	Método dos pesos das distâncias	MMQ	Discrepância (m)
P02	9,83991	9,83990	0,00001
P04	9,81820	9,81819	0,00001
P05	9,78416	9,78413	0,00002
P09	9,78781	9,78783	0,00001
P10	9,77087	9,77088	0,00001
P105	9,76281	9,76280	0,00002
P106	9,79688	9,79687	0,00000
P11	9,74596	9,74597	0,00001
P13	9,75863	9,75863	0,00000
P15	9,76805	9,76809	0,00004
P16	9,78338	9,78341	0,00003
P18	9,76563	9,76564	0,00002
P22	9,77715	9,77716	0,00002
P24	9,73898	9,73898	0,00000
P26	9,79296	9,79296	0,00000
P28	9,83769	9,83765	0,00004
P30	9,77046	9,77042	0,00004
P31	9,80029	9,80025	0,00004

(Conclusão)

PONTOS	Método dos	MMQ	Discrepância (m)
P32	9,74850	9,74855	0,00005
P34	9,70570	9,70570	0,00000
P35	9,80976	9,80972	0,00004
P37	9,75983	9,75978	0,00004
P39	9,75452	9,75447	0,00004
P41	9,75722	9,75717	0,00005
P42	9,71409	9,71405	0,00005
P43	9,75516	9,75518	0,00002
P44	9,78056	9,78052	0,00004
P46	9,83755	9,83756	0,00002
P47	9,77154	9,77160	0,00005
P49	9,76065	9,76061	0,00004
P51	9,78237	9,78238	0,00000
P52	9,70511	9,70507	0,00005
P53	9,74300	9,74300	0,00000
P54	9,80963	9,80963	0,00000
P55	9,79214	9,79217	0,00003
P56	9,75952	9,75950	0,00002
P65	9,78159	9,78159	0,00000
P76	9,76056	9,76052	0,00004
P79	9,70540	9,70536	0,00004
P93	9,75828	9,75823	0,00005
P98	9,86208	9,86209	0,00000
B27	10,03254	10,03253	0,00001
B24	9,81267	9,81266	0,00001

6.4 Recalques

6.4.1 Recalques entre as campanhas de medição C12 e C13

As Tabelas 29 e 30 apresentam os recalques obtidos utilizando-se as altitudes provenientes dos dois métodos de ajustamento utilizados nesta monografia, a saber: método dos pesos das distâncias e MMQ – Modelo Paramétrico. As discrepâncias entre as altitudes obtidas por esses dois métodos foi alvo de investigação em tópicos anteriores, resultando em valores na ordem de décimos e centésimos de milímetros.

Tabela 29 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, recalques entre as campanhas de medição C12 e C13 e suas respectivas velocidades e acelerações.

PONTOS	ALTITUDES (m)		RECALQUE (mm)	V (µm/dia)	a (µm/dia ²)
	C12: 18/05/2017	C13: 02/08/2017			
P26	9,795297	9,795222	0,07	0,99	0,01
P53	9,745332	9,745202	0,13	1,71	0,02
P106	9,799324	9,799097	0,23	2,98	0,04
P02	9,842898	9,842349	0,55	7,21	0,09
P24	9,742347	9,741645	0,70	9,24	0,12
P54	9,812429	9,811642	0,79	10,35	0,14
P35	9,812768	9,811894	0,87	11,50	0,15
P28	9,841123	9,839909	1,21	15,97	0,21
P04	9,822258	9,821043	1,21	15,98	0,21
P16	9,787185	9,785916	1,27	16,70	0,22
P37	9,764053	9,762489	1,56	20,58	0,27
P05	9,788863	9,787293	1,57	20,66	0,27
P55	9,796526	9,794901	1,63	21,39	0,28
P22	9,781780	9,780125	1,65	21,77	0,29
P46	9,842960	9,841150	1,81	23,81	0,31
P56	9,764297	9,762462	1,83	24,14	0,32
P42	9,718606	9,716770	1,84	24,16	0,32
P65	9,787933	9,786056	1,88	24,70	0,32
P18	9,770130	9,768245	1,89	24,80	0,33
P15	9,772810	9,770874	1,94	25,47	0,34
P30	9,775193	9,773229	1,96	25,84	0,34
P39	9,759453	9,757454	2,00	26,30	0,35
P43	9,760625	9,758615	2,01	26,44	0,35
P41	9,762206	9,760190	2,02	26,53	0,35
P13	9,764195	9,762100	2,10	27,58	0,36
P31	9,805738	9,803595	2,14	28,20	0,37
P52	9,710686	9,708465	2,22	29,22	0,38
P105	9,768328	9,766105	2,22	29,25	0,38
P93	9,763611	9,761365	2,25	29,55	0,39
P34	9,711201	9,708821	2,38	31,33	0,41
P09	9,793912	9,791499	2,41	31,74	0,42
P76	9,766228	9,763810	2,42	31,82	0,42
P32	9,754721	9,752181	2,54	33,43	0,44
P44	9,786523	9,783960	2,56	33,73	0,44
P49	9,767018	9,764375	2,64	34,78	0,46
P11	9,752220	9,749566	2,65	34,92	0,46
P79	9,711223	9,708560	2,66	35,04	0,46
P98	9,868294	9,865587	2,71	35,61	0,47
P51	9,788784	9,786075	2,71	35,65	0,47
P10	9,777337	9,774536	2,80	36,86	
P47	9,778076	9,775121	2,96	38,89	0,51

O recalque calculado utilizando-se as altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias (Tabela 29) obteve seu valor máximo, no intervalo de tempo estudado, no pilar P47, com valor igual a 2,96mm. Enquanto que o mínimo recalque foi calculado no pilar P26, com valor igual a 0,07mm. Dos 43 pilares medidos, 2 apresentaram levantamento ao invés de recalque, foram eles os pilares B27 e B24 que sofreram levantamento de 0,57mm e 0,54mm, respectivamente.

Tabela 30 – Altitudes ajustadas por MMQ e recalques entre as campanhas de medição C12 e

C13

(Continua)

PONTOS	ALTITUDES (m)		RECALQUE (mm)	V (µm/dia)	α (µm/dia ²)
	C12: 18/05/2017	C13: 02/08/2017			
P26	9,79533	9,79511	0,23	2,96	0,04
P53	9,74537	9,74509	0,28	3,66	0,05
P106	9,79935	9,79899	0,36	4,71	0,06
P24	9,74238	9,74171	0,67	8,81	0,12
P02	9,84293	9,84222	0,71	9,38	0,12
P54	9,81245	9,81149	0,96	12,68	0,17
P35	9,81287	9,81185	1,02	13,37	0,18
P16	9,78723	9,78593	1,30	17,15	0,23
P28	9,84122	9,83987	1,35	17,78	0,23
P04	9,82229	9,82094	1,36	17,83	0,23
P22	9,78182	9,78019	1,63	21,45	0,28
P55	9,79658	9,79490	1,68	22,11	0,29
P37	9,76415	9,76245	1,70	22,38	0,29
P05	9,78892	9,78719	1,73	22,83	0,30
P46	9,84300	9,84122	1,78	23,42	0,31
P18	9,77018	9,76831	1,87	24,58	0,32
P42	9,71864	9,71676	1,89	24,82	0,33
P56	9,76438	9,76248	1,90	25,04	0,33
P43	9,76067	9,75868	1,99	26,12	0,34
P15	9,77287	9,77086	2,01	26,41	0,35
P41	9,76224	9,76018	2,07	27,19	0,36
P31	9,80563	9,80355	2,08	27,37	0,36
P30	9,77529	9,77319	2,10	27,65	0,36
P13	9,76423	9,76210	2,13	28,03	0,37
P39	9,75955	9,75741	2,14	28,17	0,37
P52	9,71072	9,70845	2,28	29,95	0,39
P105	9,76837	9,76609	2,28	30,00	0,39
P93	9,76365	9,76135	2,31	30,34	0,40
P09	9,79394	9,79145	2,49	32,73	0,43
P34	9,71127	9,70878	2,49	32,78	0,43
P76	9,76628	9,76376	2,52	33,15	0,44

(Conclusão)					
PONTOS	ALTITUDES (mm)		RECALQUE (mm)	V ($\mu\text{m}/\text{dia}$)	α ($\mu\text{m}/\text{dia}^2$)
	C12: 18/05/2017	C13: 02/08/2017			
P32	9,75477	9,75214	2,64	34,70	0,46
P44	9,78657	9,78392	2,65	34,93	0,46
P11	9,75229	9,74956	2,73	35,86	0,47
P49	9,76707	9,76433	2,74	36,05	0,47
P79	9,71127	9,70852	2,75	36,24	0,48
P98	9,86838	9,86556	2,82	37,14	0,49
P51	9,78887	9,78604	2,83	37,23	0,49
P10	9,77741	9,77453	2,88	37,89	0,50
P65	9,78801	9,78512	2,90	38,12	0,50
P47	9,77814	9,77508	3,07	40,34	0,53

Da Tabela 30, dos recalques calculados utilizando-se as altitudes ajustadas por MMQ, tem-se que os recalques máximo e mínimo também ocorreram nos pilares P47 e P26, respectivamente, embora tenham variado seu valor na ordem de décimos de milímetros: o pilar P47 apresentando recalque de 3,07mm e o pilar P26 apresentando recalque de 0,23mm. Os pilares B27 e B24 sofreram levantamento de 0,38mm e 0,34mm, respectivamente.

6.4.2 Recalque entre as campanhas de medição C13 e C14

As Tabelas 31 e 32 apresentam os valores de recalque para o intervalo de tempo entre as campanhas de medição C13 e C14. O cálculo para este intervalo de medição também é realizado utilizando-se as altitudes obtidas pelos dois métodos de ajustamento utilizados no processamento dos dados.

Tabela 31 – Altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e recalques entre as campanhas de medição C13 e C14.

(Continua)

PONTOS	ALTITUDES (m)		RECALQUE (mm)	V ($\mu\text{m}/\text{dia}$)	α ($\mu\text{m}/\text{dia}^2$)
	C13: 02/08/2017	C14: 01/11/2017			
P54	9,81164	9,80956	2,08	22,88	0,25
P35	9,81189	9,80969	2,20	24,20	0,27
P53	9,74520	9,74293	2,27	24,96	0,27
P28	9,83991	9,83762	2,29	25,14	0,28
P106	9,79910	9,79681	2,29	25,18	0,28
P26	9,79522	9,79289	2,34	25,67	0,28
P02	9,84235	9,83983	2,51	27,63	0,30

PONTOS	ALTITUDES (m)		RECALQUE (mm)	V (µm/dia)	a (µm/dia ²)
	C13: 02/08/2017	C14: 01/11/2017			
P16	9,78592	9,78331	2,61	28,67	0,32
P18	9,76824	9,76556	2,69	29,54	0,32
P37	9,76249	9,75976	2,73	30,03	0,33
P24	9,74164	9,73891	2,74	30,10	0,33
P42	9,71677	9,71402	2,75	30,21	0,33
P55	9,79490	9,79207	2,83	31,14	0,34
P30	9,77323	9,77039	2,84	31,18	0,34
P15	9,77087	9,76797	2,90	31,87	0,35
P04	9,82104	9,81813	2,91	32,01	0,35
P39	9,75745	9,75445	3,01	33,05	0,36
P56	9,76246	9,75945	3,01	33,10	0,36
P41	9,76019	9,75715	3,04	33,46	0,37
P22	9,78012	9,77708	3,05	33,50	0,37
P93	9,76137	9,75821	3,16	34,72	0,38
P34	9,70882	9,70562	3,20	35,13	0,39
P05	9,78729	9,78408	3,21	35,26	0,39
P79	9,70856	9,70533	3,23	35,49	0,39
P76	9,76381	9,76049	3,32	36,48	0,40
P105	9,76611	9,76274	3,36	36,97	0,41
P31	9,80359	9,80022	3,37	37,09	0,41
P52	9,70847	9,70504	3,42	37,63	0,41
P44	9,78396	9,78049	3,47	38,13	0,42
P43	9,75861	9,75509	3,52	38,72	0,43
P13	9,76210	9,75855	3,55	38,97	0,43
P98	9,86559	9,86201	3,58	39,31	0,43
P65	9,78512	9,78152	3,60	39,57	0,43
P47	9,77512	9,77147	3,65	40,09	0,44
P46	9,84115	9,83748	3,67	40,37	0,44
P11	9,74957	9,74588	3,68	40,47	0,44
P10	9,77454	9,77079	3,74	41,13	0,45
P32	9,75218	9,74843	3,75	41,25	0,45
P09	9,79150	9,78774	3,76	41,28	0,45
P51	9,78607	9,78230	3,77	41,45	0,46
P49	9,76437	9,76058	3,79	41,70	0,46

Da tabela 31, tem-se que o recalques máximo e mínimo entre as campanhas C13 e C14, calculados a partir das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias, é 3,795mm e 2,082mm e correspondem aos pilares P49 e P54, respectivamente. O pilar B24 apresentou recalque de 1,96mm e o pilar B27 apresentou recalque de 1,19mm.

Tabela 32 – Altitudes ajustadas por MMQ, recalques, velocidades e acelerações de recalque, entre as campanhas de medição C13 e C14.

PONTOS	ALTITUDES (m)		RECALQUE (mm)	V (µm/dia)	a (µm/dia ²)
	C13: 02/08/2017	C14: 01/11/2017			
P54	9,81149	9,80955	1,94	21,28	0,23
P53	9,74509	9,74293	2,16	23,73	0,26
P106	9,79899	9,79680	2,19	24,09	0,26
P35	9,81185	9,80964	2,21	24,30	0,27
P26	9,79511	9,79288	2,22	24,42	0,27
P28	9,83987	9,83757	2,30	25,29	0,28
P02	9,84222	9,83982	2,40	26,36	0,29
P16	9,78593	9,78333	2,60	28,60	0,31
P55	9,79490	9,79217	2,73	30,04	0,33
P18	9,76831	9,76557	2,74	30,15	0,33
P37	9,76245	9,75971	2,75	30,18	0,33
P42	9,71676	9,71397	2,79	30,64	0,34
P24	9,74171	9,73890	2,81	30,86	0,34
P04	9,82094	9,81812	2,82	31,03	0,34
P15	9,77086	9,76801	2,85	31,33	0,34
P30	9,77319	9,77034	2,85	31,34	0,34
P39	9,75741	9,75440	3,02	33,15	0,36
P56	9,76248	9,75942	3,05	33,56	0,37
P41	9,76018	9,75709	3,08	33,89	0,37
P22	9,78019	9,77709	3,10	34,10	0,37
P05	9,78719	9,78406	3,13	34,43	0,38
P34	9,70878	9,70562	3,15	34,65	0,38
P93	9,76135	9,75815	3,19	35,09	0,39
P79	9,70852	9,70528	3,24	35,58	0,39
P76	9,76376	9,76044	3,32	36,46	0,40
P105	9,76609	9,76272	3,37	37,00	0,41
P31	9,80355	9,80017	3,38	37,12	0,41
P52	9,70845	9,70499	3,46	38,01	0,42
P44	9,78392	9,78044	3,48	38,22	0,42
P98	9,86556	9,86201	3,55	38,98	0,43
P13	9,76210	9,75855	3,55	39,01	0,43
P47	9,77508	9,77152	3,55	39,06	0,43
P43	9,75868	9,75510	3,58	39,32	0,43
P65	9,78512	9,78151	3,60	39,59	0,44
P32	9,75214	9,74848	3,66	40,21	0,44
P11	9,74956	9,74589	3,67	40,35	0,44
P09	9,79145	9,78775	3,71	40,72	0,45
P10	9,77453	9,77080	3,73	41,01	0,45
P46	9,84122	9,83749	3,73	41,03	0,45
P51	9,78604	9,78230	3,74	41,08	0,45
P49	9,76433	9,76053	3,80	41,74	0,46

Analisando mais uma vez o recalque entre as campanhas C13 e C14, agora a partir das altitudes ajustadas por MMQ, tem-se, da Tabela 32, que o máximo recalque ocorreu no pilar P49, no valor de 3,80mm, e o mínimo recalque ocorreu no pilar P54, no valor 1,94mm. O pilar B24 apresentou recalque de 1,82mm e o pilar B27 apresentou recalque de 1,06mm.

6.4.3 Análises dos recalques

A Tabela 33 apresenta os recalques máximos e mínimos, obtidos a partir das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e por MMQ – Modelo Paramétrico, no intervalo entre as campanhas C12 e C13. Os dois métodos de ajustamento indicaram os mesmos pilares com recalques máximos e mínimos, foram eles o P47 e o P26, respectivamente. A discrepância entre os recalques calculados foi de décimos de milímetros.

Tabela 33 – Recalques máximos e mínimos, obtidos por diferentes métodos de ajustamento das observações, para o intervalo entre as campanhas C12 e C13.

RECALQUES	Método dos Pesos das Distâncias		Método dos Mínimos Quadrados – Modelo Paramétrico		DISCREPÂNCIA (mm)
	PILAR	VALOR (mm)	PILAR	VALOR (mm)	
RECALQUE MÁXIMO	P47	3,07	P47	2,96	0,11
RECALQUE MÍNIMO	P26	0,23	P26	0,07	0,16

A Tabela 34 apresenta os recalques máximos e mínimos, obtidos a partir das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e por MMQ, no intervalo entre as campanhas C13 e C14. Os dois métodos de ajustamento das observações apontaram para o pilar P49 como sendo o que obteve maior recalque, com discrepância de centésimo de milímetro. O mesmo ocorreu no pilar de mínimo recalque, com os dois métodos de ajustamento das observações apontado para o pilar P54, com discrepância de décimo de milímetro.

Tabela 34 – Recalques máximos e mínimos, obtidos por diferentes métodos de ajustamento das observações, para o intervalo entre as campanhas C13 e C14.

RECALQUES	Método dos Pesos das Distâncias		Método dos Mínimos Quadrados – Modelo Paramétrico		DISCREPÂNCIA (mm)
	PILAR	VALOR (mm)	PILAR	VALOR (mm)	
RECALQUE MÁXIMO	P49	3,79	P49	3,80	0,01
RECALQUE MÍNIMO	P54	1,94	P54	2,08	0,14

As Tabelas 35 e 36 apresentam as velocidades máxima, média e mínima, provenientes das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e por MMQ-Modelo Paramétrico, para os intervalos de 76 dias e 91 dias, entre as campanhas C12-C13 e C13-C14, respectivamente. Notou-se um pequeno aumento das velocidades provenientes dos dois métodos de ajustamento. Observa-se também a redução da discrepância entre as velocidades máximas e mínimas entre as campanhas C13 e C14.

Tabela 35 – Velocidades máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias

V(μm/dia)	C12-C13: 76 dias	C13-C14: 91 dias
MÁXIMA	38,89	41,70
MÉDIA	24,07	34,02
MÍNIMA	0,99	22,88

Tabela 36 – Velocidades máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas por MMQ

V(μm/dia)	C12-C13: 76 dias	C13-C14: 91 dias
MÁXIMA	40,34	41,74
MÉDIA	24,07	33,83
MÍNIMA	2,96	21,28

As Tabelas 37 e 38 apresentam as acelerações máximas, média e mínima, provenientes das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias e por MMQ, para os intervalos de 76 dias e 91 dias, entre as campanhas C12-C13 e C13-C14, respectivamente. Nota-se que, nos resultados provenientes dos dois métodos de ajustamento das observações, a aceleração máxima apresentou uma diminuição entre as campanhas C13 e C14, se comparada à aceleração máxima entre as campanhas C12 e C13. Observou-se também que, nos resultados provenientes dos dois métodos de ajustamento das observações, a discrepância entre a aceleração máxima e mínima

diminuiu entre as campanhas C13 e C14, se comparada a discrepância entre as campanhas C12 e C13.

Tabela 37 – Acelerações máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas pelo método dos pesos das distâncias

$a(\mu\text{m}/\text{dia}^2)$	C12-C13: 76 dias	C13-C14: 91 dias
MÁXIMA	0,51	0,46
MÉDIA	0,32	0,37
MÍNIMA	0,01	0,25

Tabela 38– Acelerações máximas, médias e mínimas para os intervalos de 76 dias e 91 dias proveniente das altitudes ajustadas por MMQ

$a(\mu\text{m}/\text{dia}^2)$	C12-C13: 76 dias	C13-C14: 91 dias
MÁXIMA	0,53	0,46
MÉDIA	0,34	0,37
MÍNIMA	0,04	0,23

7 CONCLUSÕES

As ênfases dadas nesta monografia, no que diz respeito a instrumentação, medição, processamento e análise, serviram para demonstrar uma metodologia de monitoramento de recalques que pode ser utilizada para a auscultação do movimento vertical de diversas estruturas, sejam elas de pequeno ou grande porte.

O edifício LITPEG vem sendo monitorado desde o início de sua construção, em 2015, totalizando, em dezembro de 2017, quatorze campanhas de nivelamento geométrico de alta precisão. Para esta monografia foram utilizadas apenas três das campanhas de medição, com intervalos de tempo de 76 e 91 dias (18/05/2017, 02/08/2017 e 01/11/2017), resultando em recalques parciais na ordem de milímetros. O tempo empregado no ajustamento das observações garantiu que fosse feito um controle das altitudes obtidas, uma vez que é preciso definir com confiabilidade os valores que possibilitarão o monitoramento da estrutura. As altitudes obtidas pelo método dos pesos das distâncias e por MMQ-Modelo Paramétrico tiveram suas discrepâncias investigadas e resultaram na ordem de décimos e centésimos de milímetros, o que garante que as altitudes foram determinadas de forma correta nos dois métodos de ajustamento. Os desvios padrão dos parâmetros ajustados no MMQ também resultaram na ordem de décimos e centésimos de milímetros e para todos os circuitos nivelados a hipótese básica do teste do Qui-Quadrado, ao nível de significância de 5%, foi aceita.

Entre as campanhas C12 e C13, com intervalo de 76 dias, 41 pilares sofreram recalque de milímetros e 2 pilares apresentaram levantamento de décimos de milímetros, foram eles o B27 e B24. Estes dois pilares ficam localizados em uma estrutura anexo ao LITPEG, não tendo acompanhado o ritmo da construção do prédio principal. Entre as campanhas C13 e C14, com intervalo de 91 dias, todos os 43 pilares obtiveram recalque em milímetros. Como o LITPEG ainda não se estabilizou, houve uma leve aceleração de recalques durante o período das três campanhas analisadas.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Rio de Janeiro., 1994.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122: Projeção e Execução de Fundações.** Rio de Janeiro , 2010.

ARANA, J. M.. **Determinação da Ondulação Geoidal com Uso do GPS/Nivelamento.** XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Unesp. Departamento de Cartografia, São Paulo -SP, 2003.

BRUNNER, F. K.. **Overview of Geodetic Refraction Studies.** Berlin: Springer-Verlag, 1984.

CAMARGO, P. O.. **Ajustamento das Observações.** Apostila - Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente - SP, 2000.

CARDOSO, P. J. C.. **Determinação Controlada de deslocamentos Verticais de Pontos com Linha de Base GPS de 425 Metros de Extensão.** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE , 2005.

COLARES, G. M.. **Programa para Análise da Interação Solo-Estrutura no Projeto de Edifícios.** Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo - SP , 2006.

ERBA, D. A.; THUM, B. A.; SILVA, C. A. U.; SOUZA, G. C.; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T. C. B.. **Topografia para Estudantes de Arquitetura , Engenharia e Geologia.** Editora Unisinos. Rio Grande do Sul, 2005.

FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D.. **Altitudes e Geopotencial.** International Geoid Service. p. 47-62. Milan, 1999.

GEMAEL, C.. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Editora UFPR. Curitiba, 1994. 319 p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R.. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Editora UFPR. 2 ed. Curitiba - PR, 2015. 430 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ajustamento Simultâneo da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro.** Diretoria de Geociências.

Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro - RJ, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O Novo Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil. MAPGEO 2015.** Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro - RJ, 2015.

IBGE. Resolução n. 22, de 21 de julho de 1983. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos.**

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 1: Levels.** Geneva, 2001.

IWAMOTO, R. K.. **Alguns Aspectos Dos Efeitos Da Interação Solo – Estrutura Em Edifícios De Múltiplos Andares Com Fundação Profunda.** Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos - SP , 2000.

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

MAIA, P. C. DE A.; BARROS, R. A. DE; ALBUQUERQUE JUNIOR, F. F.. **Avaliação da Interação Solo-Estrutura através da Monitoração de Recalques.** Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, p. 53–70, 2011.

MOREIRA, A. S. B.. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classi IIN da NBR 13.133: Limites e condições de compatibilidade.** Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos - SP , 2003.

SANTOS, M. C. DOS.. **Estabilidade das Estruturas Geodésicas.** Curitiba: Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná., 1999.

SEIXAS, A.; SEIXAS, J. R.; SEIXAS, J. J.. Auscultação Geodésica no Controle de Recalque da Fundação de Edifício Predial de Grande Porte. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, v. 15, n. 2, p. 277–298, 2009.

SEIXAS, A. de; SEIXAS, J. R. de. **Relatório Técnico Controle e Monitoramento de Recalques – Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG CTG/UFPE - Medição 12 – 18/05/2017**, 2017a.

SEIXAS, A. de; SEIXAS, J. R. de. **Relatório Técnico Controle e Monitoramento de Recalques – Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG CTG/UFPE - Medição 13 – 02/08/2017**, 2017b.

SEIXAS, A. de; SEIXAS, J. R. de. **Relatório Técnico Controle e Monitoramento de Recalques – Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – LITPEG CTG/UFPE - Medição 14 – 01/11/2017**, 2017c.

SILVA, E. V..**Monitoramento de Estruturas Geodésicas Altimétricas e Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica: Campus Recife da UFPE**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE, 2017.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L.. **Topografia para Engenharia. Teoria e Prática de Geomática**. 1. ed. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2015.