



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 8, n° 2 (2022)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID28882>



Desenvolvimento de aplicativo para o controle e operação remota de estações totais

App development to total station control and remote operation

Andreas Jerke¹; Felipe Andres Carvajal Rodriguez²; Samir de Souza Oliveira Alves³; Leandro Ítalo Barbosa de Medeiros⁴; Livia Farias Sampaio⁵; Luis Augusto Koenig Veiga⁶; Pedro Luís Faggion⁷

- ¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: andreas_jerke@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9476-5201>
- ² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: felipe.carvajalro@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2418-3924>
- ³ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: samirsoalves93@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-0681>
- ⁴ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: eng.leandromedeiros@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0437-1269>
- ⁵ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: liviafariasampaio@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2543-5014>
- ⁶ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: kngveiga@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4026-5372>
- ⁷ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba/PR, Brasil. Email: pedro.faggion@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4881-8720>

Resumo: Em trabalhos que exigem precisões milimétricas das medições, a operação remota de estações totais se torna uma opção desejável para reduzir o contato direto entre o operador e o instrumento, além de automatizar a transferência dos dados coletados durante o levantamento. Este trabalho teve como objetivo explorar, no âmbito da automação de instrumentos, a potencialidade de uso de protocolo de comunicação no desenvolvimento de um aplicativo de celular, para o controle e operação de uma estação total robotizada, modelo Leica TS15, a partir do protocolo de comunicação GeoCOM. Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada a plataforma Web gratuita MIT *App Inventor* que possibilitou a elaboração da interface, bem como a programação de funções de conexão de smartphones com a estação total, dentre elas: medição de distância, movimento de escopo vertical, horizontal e rotação da estação, busca automática do prisma e o movimento entre as posições de medição direta e inversa. Além disso, utilizou-se a conexão via Bluetooth para o envio de comandos e recebimento de dados por um smartphone com sistema operacional Android. Como resultado, foi desenvolvido um aplicativo de celular capaz de controlar a estação total robotizada permitindo o controle de forma remota, demonstrando a potencialidade da integração Bluetooth entre smartphone/estação total.

Palavras-chave: Aplicativo de estação total; Automação; Geodésia.

Abstract: In situations that require millimeter accuracy of measurements, remote operation of total stations becomes a desirable option to reduce direct contact between the operator and the instrument, in addition to automating the transfer of data collected during the survey. This work aimed to explore, in the scope of instrument automation, the potential of using a communication protocol in the development of a cell phone application, for the control and operation of a robotic total station, model Leica TS15, from the protocol of GeoCOM communication. For the development of the application, the free MIT App Inventor web platform was used, which allowed the elaboration of the interface, as well as the programming of smartphone connection functions with the total station, among them: distance measurement, vertical and horizontal scope movement. and station rotation, automatic prism search and movement between forward and reverse measurement positions. In addition, the connection via Bluetooth was used to send commands and receive data by a smartphone with Android operating system. As a result, a mobile application capable of controlling the robotic total station was developed, allowing remote control, demonstrating the potential of Bluetooth integration between smartphone/total station.

Keywords: Total station app; Automation; Geodesy.

Recebido: 13/05/2022; Aceito: 02/09/2022; Publicado: 06/10/2022.

1. Introdução

A coleta de dados em campo empregando métodos topográficos ou geodésicos envolve a utilização de equipamentos para a mensuração das grandezas de interesse, como direções horizontais, ângulos verticais e distâncias inclinadas. Tais grandezas podem ser mensuradas por meio de equipamentos, como a estação total que é um dos principais equipamentos utilizados nos trabalhos.

Os primeiros modelos comerciais de estações totais datam da década de 70. Inicialmente, tratavam-se de medidores de distâncias eletrônicos acoplados a um teodolito que, posteriormente, foram sintetizados em um único equipamento, o que veio a ser chamado de estação total (PETRIE; TOTH, 2018). Algumas décadas depois foram lançadas no mercado da geotecnologia estações totais com servo motores, os quais permitem a realização de movimentos de rotação do instrumento entorno do seu eixo principal e da luneta em relação ao eixo secundário (LEVIN; NADOLINETS; AKHMEDOV, 2017). Além dessas, cabe destacar as estações totais que apresentam a capacidade de reconhecimento e pontaria automática de alvos, sendo denominadas de estações automáticas ou robotizadas (CARVAJAL; VEIGA, 2019).

A coleta de dados geodésicos corresponde a uma estruturada sequência de passos lógicos e, como resultado, oferece um número determinado de observações para um ou vários fenômenos de caráter físico, os quais são processados e transformados em informação de interesse, normalmente coordenadas geodésicas. A evolução da coleta de dados ocorre simultaneamente aos avanços tecnológicos dos equipamentos de medição. Inicialmente, as observações eram registradas em papel, diminuindo a eficiência do processo e limitando a quantidade de dados coletados, contribuindo também para um aumento na probabilidade de ocorrências de erros grosseiros durante o processo de coleta. Na atualidade, as estações totais, receptores de sinais GNSS (*Global Navigation Satellite System*), níveis digitais e outros equipamentos de medição, têm a capacidade de coletar uma grande quantidade de dados em comparação aos dados coletados no passado em um mesmo intervalo de tempo. Esse é o resultado da própria evolução tecnológica que traz consigo o conceito de automação; pode ser definido pelo fato de haver restrição da intervenção humana no processo da coleta de dados.

O desenvolvimento tecnológico com automação tem sido um dos principais focos no âmbito dos levantamentos geodésicos, uma vez que proporciona impactos significativos nas precisões dos dados coletados, diminuindo erros e aumentando a produtividade (TEDESCHI; FAGGION; ANDOLFATO, 2017; CARVAJAL; VEIGA, 2019). Tal progresso se deve à necessidade, por parte de diferentes áreas da ciência ou indústria, de empregar mais eficiência nos levantamentos de dados, resultando em agilidade, melhor precisão, por meio de sistemas de reconhecimento automático ATR (*Automatic Target Recognition*) ou codificadores angulares, e também diminuição dos riscos associados ao processo de coleta em campo pelos operadores (MEDEIROS; FAGGION; ALVES, 2020).

O avanço tecnológico permitiu a integração de aplicações computacionais nas técnicas de monitoramento geodésico, viabilizando a utilização de parâmetros de monitoramento de túneis, estradas, barragens e estruturas. Como resultado, toda a evolução tecnológica na área dos sensores geodésicos tem fornecido grande quantidade de dados, maior confiabilidade das informações adquiridas e eficiência no processo de obtenção de dados (AGUILAR; CARVAJAL, 2014).

Nessa perspectiva, a possibilidade de desenvolvimentos de aplicativos e programas proprietários ou livres para determinados tipos de equipamentos através de protocolos de comunicação tem sido absorvido pela indústria dos sensores geodésicos. Esse conceito se traduz na possibilidade de que os usuários desenvolvam suas próprias aplicações para atingir objetivos específicos não padronizados nas soluções comerciais. A possibilidade de que os usuários possam realizar suas próprias rotinas para automatizar coleta de dados ou gerar informação em campo é possível mediante a abertura dos códigos-fonte de sensores geodésicos e de protocolos de comunicação, os quais permitem o controle de seus sensores.

Alguns exemplos que podem se tornar uma solução geral para um setor da indústria ou para as áreas da ciência mediante a automação de uma estação total são: aplicações para reconhecimento automático de prismas (OMIDALIZARANDI *et al.*, 2018), nivelamento trigonométrico com estações totais (ZOU *et al.*, 2017), monitoramento geodésico (JÄGER *et al.*, 1999; WILKINS *et al.*, 2003; LUTES, 2002; ENGEL; SCHWEIMLER, 2016), monitoramento de vias férreas (GIKAS; DASKALAKIS, 2008), monitoramento industrial (SETAN; IDRIS, 2008) ou aplicações orientadas à ciência, como o sistema Qdaedalus de Hauk *et al.* (2017).

Atualmente, um dos pontos de destaque no que se refere à aplicação de automação de levantamentos com estação total é a integração de sensores, a qual visa a realização de observações de fenômenos físicos por mais de um sensor, sincronizando a coleta. Assim é possível associar acelerômetros a sensores geodésicos terrestres com uma estação total ou sensores contidos em outros instrumentos, como receptores GNSS, durante o monitoramento geodésico de uma estrutura ou também entre diferentes sensores geodésicos (MEDEIROS; FAGGION; ALVES, 2020). Esta última possibilidade também abre a porta para a integração experimental mediante sensores de baixo custo, como apresentado em Carvajal e Veiga (2019) que desenvolveram uma rede de sensores de temperatura com microcontroladores arduíno para o cálculo

da primeira correção de velocidade no monitoramento de parâmetros ambientais, integrando nas observações de distâncias obtidas com o medidor eletrônico de uma estação total.

Uma das características das estações totais modernas é a capacidade de realização do controle e operação de forma remota, seja por controles remotos dedicados ou através de algum tipo de interface. Ao serem considerados os instrumentos de medida com alta precisão e sensibilidade, é fundamental idealizar a sua operação remota, uma vez que a diminuição do contato direto durante a operação dos instrumentos minimizaria possíveis fontes de erros.

Destaca-se também que a movimentação do usuário no entorno do instrumento pode provocar vibrações não desejadas no conjunto tripé/estação. Assim, pensar em operar uma estação total de forma remota não é meramente uma comodidade, mas sim uma forma de melhorar a qualidade do trabalho e, conseqüentemente, da precisão obtida.

Outra vantagem da operação remota é que nos levantamentos geodésicos de alta precisão as medições de temperatura, umidade e pressão atmosférica são necessárias quando a medição de distância é realizada pelos Medidores Eletrônicos de Distância (MED), sendo que um operador próximo ao instrumento pode criar um microclima que interfere nas medidas desses valores. Esse procedimento se faz necessário porque a distância calculada pelos MED é determinada a partir do conhecimento da velocidade de propagação da luz no vácuo. Contudo, nos levantamentos geodésicos de alta precisão, é necessário considerar o valor da velocidade da propagação da luz no ambiente onde está sendo realizada a medição. Para mais detalhes sobre medidores eletrônicos de distância, recomenda-se consultar Jerke (2019).

No âmbito dos sensores geodésicos e do avanço da tecnologia móvel, pode-se destacar a sua implementação e constante melhoria em smartphones. Um dos pontos explorados atualmente condiz ao uso de receptores GNSS (URADZIŃSKI; BAKUŁA, 2020) e dos sensores imageadores, aplicando-se técnicas como o *Structure from Motion* para extração de modelos tridimensionais visando o cálculo de volume (WRÓŚYŃSKI *et al.*, 2017) ou a reconstrução 3D de objetos de interesse geomorfológico (DABOVE; GRASSO; PIRAS, 2019), e a ainda a detecção de deslocamentos de superfície (ALVES *et al.* 2020). A presença de diversos sensores possibilita, ainda, a sua combinação para sincronização de dados e modelagem de informações a partir dos smartphones (FISSORE *et al.*, 2017).

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um aplicativo para o controle de uma estação total, bem como apresentar os conceitos e métodos envolvidos no processo de comunicação entre equipamentos de levantamentos geodésicos. A plataforma *MIT App Inventor* foi utilizada para o desenvolvimento do aplicativo de controle em sistema operacional Android. O protocolo GeoCOM da empresa *Leica Geosystems* foi utilizado para a comunicação com a estação total, a partir do envio de códigos e recepção de dados coletados via interface de comunicação no smartphone com conexão Bluetooth.

2. Metodologia

O desenvolvimento da interface para controle da estação total, usando smartphone, envolveu o conhecimento do protocolo de comunicação disponível pelo fabricante do instrumento e a escolha do sistema operacional no qual se desenvolveu o aplicativo. Neste trabalho foram utilizados o sistema operacional Android e o protocolo GeoCOM a fim de estabelecer comunicação com a estação total Leica TS15.

Cabe ressaltar que foram consideradas as características correspondentes aos smartphones utilizados para o desenvolvimento do *designer* da interface de comunicação, como a dimensão da tela, dispositivos de entrada, sensores de comunicação e memória. Considerou-se também a usabilidade do aplicativo nas funções implementadas, uma vez que aplicativos de celular devem estar focados nas soluções de problemas para usuários.

2.1. Processo de comunicação

A comunicação consiste na troca ou compartilhamento de informações, através de meios materiais ou não, com o objetivo de realizar a transmissão de dados entre dois ou mais indivíduos e/ou dispositivos (FOROUZAN, 2010), conforme ilustrado na Figura 1.

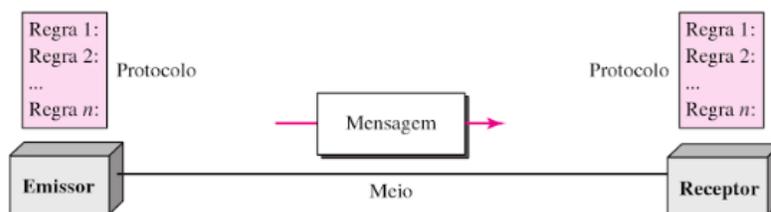


Figura 1 – Componentes de um sistema de comunicação.
Fonte: Forouzan (2010).

Segundo Forouzan (2010, p. 4), a comunicação de dados entre dispositivos necessita da associação de software e hardware, sendo composto por cinco elementos chaves:

- “Mensagem: (...) informações (dados) a serem transmitidas. Entre as formas populares de informação, temos: texto, números, figuras, áudio e vídeo;
- Emissor: (...) dispositivo que envia a mensagem de dados. Pode ser um computador, estação de trabalho, aparelho telefônico, televisão e assim por diante;
- Receptor: (...) dispositivo que recebe a mensagem de dados. Pode ser um computador, estação de trabalho, aparelho telefônico, televisão e assim por diante;
- Meio de transmissão: (...) caminho físico pelo qual uma mensagem trafega do emissor ao receptor. Alguns exemplos de meio de transmissão são os seguintes: cabo de par trançado, cabo coaxial, cabo de fibra óptica e ondas de rádio.
- Protocolo: (...) conjunto de regras que controla a comunicação de dados. Representa um acordo entre os dispositivos de comunicação. Sem um protocolo, dois dispositivos podem estar conectados, mas, sem se comunicar (...)”

Dentre os meios de comunicação utilizados atualmente, explora-se a conexão de dispositivos por meio da tecnologia Bluetooth, presente em grande parte dos dispositivos eletrônicos. A troca de informações utilizando Bluetooth ocorre por meio da faixa de frequência de 2.4 GHz, definida como *piconet*, podendo chegar a um alcance de conexão de 100m, dependendo do desempenho (LOUREIRO *et al.*, 2003). Durante a comunicação, os dispositivos trabalham em uma forma estabelecida como mestre-escravo, sendo o mestre aquele que inicia a conexão, limitando-se em até 7 escravos por mestre (LOUREIRO *et al.*, 2003).

A presença desses dispositivos em smartphones, aliados à possibilidade de desenvolvimentos de aplicativos que viabilizam a exploração de tal tecnologia, permite o estabelecimento de comunicação e/ou controle de equipamentos e outros dispositivos, dispensando o contato físico direto.

A conexão entre smartphones e estações totais pode ser feita via cabo, link de rádio ou Bluetooth, no modo *request/response* (pergunta e resposta), nos dois sentidos, em que ambos são emissores e receptores e que a cada pergunta realizada pelo smartphone, uma resposta é enviada pela estação. O Bluetooth foi o meio de comunicação escolhido para realizar a troca de mensagens entre os dispositivos abordados nesta pesquisa. A comunicação, nesse caso, também é parametrizada através de um protocolo que permitirá o envio das informações e sua decodificação (Figura 2).

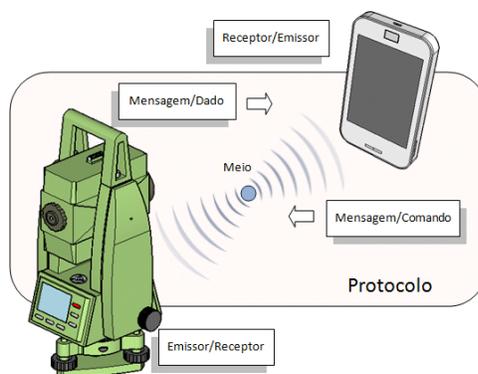


Figura 2 – Sistema de comunicação estação-total-smarphone.
Fonte: Os autores (2022).

Para que a comunicação ocorra, é necessário inicialmente criar um programa que possa gerar as perguntas e entender as respostas da estação total no formato estabelecido pelo protocolo. Desenvolver um programa desse tipo, para dispositivos móveis, requer a criação de um aplicativo, que gerenciará o processo de comunicação. Diversas linguagens de programação podem ser utilizadas, como o Python, por exemplo. Existem também as plataformas *web open-source* que permitem o desenvolvimento de programas aplicativos para o sistema operacional Android. A empresa Google Inc, em parceria com *Massachusetts Institute of Technology*, disponibilizou uma plataforma gratuita, denominada de *MIT App Inventor*, que visa o desenvolvimento de aplicativos para Smartphone, com sistema operacional Android, por meio da programação orientada a design de aplicativos, permitindo a exploração de suas funcionalidade e dispositivos como GNSS, acelerômetro, conexões Web e Bluetooth (FINILOZA *et al.*, 2014).

Diversas pesquisas sobre a utilização aplicada de tecnologias móveis vêm sendo difundidas atualmente, dentre elas o aplicativo de smartphone desenvolvido para o projeto geométrico de estradas que realiza o cálculo de todos os elementos das curvas, como por exemplo: rotina, cálculo de curvas simples, cálculo de curvas com transição espiral, estaqueamento de curvas simples e estaqueamento de curvas com transição (OLIVEIRA; VAZ, 2016).

Outro exemplo é o Calc-Geo, aplicativo com processamento em tempo real para levantamento topográfico em área de produção cafeeira. Testes realizados nessas áreas mostraram que a sua utilização pode proporcionar ao cafeicultor um erro inferior a 1% na definição da quantidade de pés de café que ele deve adquirir/comprar para uma determinada área de plantio (SILVEIRA *et al.*, 2017). Finalmente, Mlenek *et al.* (2017) desenvolveram um aplicativo na plataforma Android studio visando o monitoramento dinâmico de estruturas através de sensores inteligentes.

2.2. Protocolo de comunicação

Nos últimos anos tem-se registrado o surgimento de diversas marcas de instrumentos topográficos/geodésicos, cada uma com os seus próprios protocolos de comunicação. No entanto, neste artigo optou-se por escolher o protocolo de comunicação da empresa *Leica-Geosystems*, denominado GeoCOM, para uma breve exemplificação e utilização na operação remota de equipamentos devido a disponibilidade da estação total TS15 para esta pesquisa. A TS15 possui precisão angular de 1", precisão linear de $\pm (1\text{mm} + 1,5 \text{ ppm})$, e ATR capaz de localizar e rastrear prismas, durante o levantamento realizado, com precisão de 0,3 miligrados (mgon) (LEICA, 2015; MEDEIROS, 2020).

2.2.1. Protocolo GeoCOM

De acordo com Leica (2006), com esse protocolo é possível escrever aplicações baseadas no MS-Windows e/ou para qualquer outra plataforma que suporta comunicações baseadas em ASCII. A empresa possui um conjunto de instrumentos que fazem parte da família de softwares TPS1000, TPS1100 e TPS1200. O sistema TPS organiza e controla a atuação interna de vários elementos de sensores e dá acesso a uma série de funções. Em Leica (2006) é possível ter acesso a todas as funções que podem ser manipuladas e controladas pelo Cliente GeoCOM, um pacote de software desenvolvido por Microsoft Visual Basic e VBA.

A comunicação ocorre entre um cliente e um servidor e é realizada por linhas serial de comunicação. A arquitetura de comunicação entre o dispositivo requerente e o equipamento Leica pode ser visto na Figura 3.

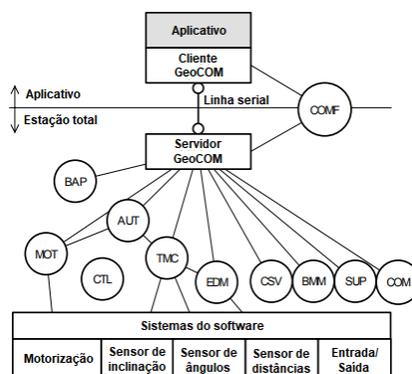


Figura 3 – Estrutura de comunicação GeoCOM.

Fonte: Adaptado de Leica (2006).

Os círculos representam as funções, as quais são organizadas em subsistemas (Leica, 2006):

- AUT – Automatização: esse módulo possui funções que controlam, por exemplo, o reconhecimento automático de alvos, função mudança de face ou função de posição.
- BMM - *Basic Man Machine*: são funções de comunicações básicas como, por exemplo, configurar alarme ou coisas relacionadas.
- COM – Comunicação: esse módulo trabalha com parâmetros de comunicações básicos, a maior parte dessas funções são relacionadas tanto a parte de cliente quanto de servidor.
- CSV - Serviços Centrais: esse módulo possui funções para adquirir ou configurar informações centrais/básicas sobre o instrumento TPS1200.
- CTL - Tarefa de controle: esse módulo contém funções do sistema de tarefas de controle.
- EDM - Medidor de distância eletrônica: esse módulo oferece uma série de funções que medem distâncias.
- MOT – Motorização: módulo responsável pelo controle de movimentação e velocidade de movimentação do equipamento.
- SUP – Supervisor: funções para controle de alguns valores gerais de um instrumento TPS1200.
- TMC - Medições do teodolito e cálculo: é o módulo central para coleta de dados de medição.

Os comandos utilizando o GeoCOM se iniciam com o conjunto de caracteres "%R1Q," seguido de um número de identificação do comando, como por exemplo o número 17017 para medir distância e ângulo. Para todo comando, uma resposta ASCII é enviada pelo instrumento, que por sua vez se inicia com "%R1P" seguido de códigos de retorno e parâmetros que dependem do requerimento ASCII enviado. Na Tabela 1 são apresentados exemplos de sintaxes de envio de funções para recebimento de informações.

Tabela 1 – Exemplo de sintaxes de algumas funções.

Exemplo de funções			
Função	Comando GeoCOM	Solicitação ASCII	Resposta ASCII
Número Serial	CSV_GetInstrumentNo	%R1Q,5003:	%R1P,0,0:0,SerialNo
Tipo do instrumento	CSV_GetInstrumentName	%R1Q,5004:	%R1P,0,0:0,Name
Data/hora	CSV_GetDateTIme	%R1Q,5008:	%R1P,0,0:0,Data,Hour,Minute,Second
Ângulo horizontal	BAP_MeasDistAngle	%R1Q,17017:2	%R1P,0,0:0,dHz,dV,dDist,DistMode
Ângulo vertical	BAP_MeasDistAngle	%R1Q,17017:2	%R1P,0,0:0,dHz,dV,dDist,DistMode
Distância inclinada	BAP_MeasDistAngle	%R1Q,17017:2	%R1P,0,0:0,dHz,dV,dDist,DistMode
PPM/mm	TMC_GetSlopeDistCorr	%R1Q,2126:	%R1P,0,0:0,total_Ppm,PrismCorr
Constante do Prima	TMC_GetPrismCorr	%R1Q,2023:	%R1P,0,0:0,PrismCorr

Fonte: Adaptado de Leica (2006).

2.3. Desenvolvimento do aplicativo

Dentro do campo de desenvolvimento de softwares e aplicativos existem diferentes modelos que viabilizam a organização inicial para a elaboração de uma determinada aplicação. Nesse quesito, decidiu-se adotar o Modelo Sequencial Linear, definido também como Modelo Cascata, para a elaboração das etapas da criação do aplicativo, de forma bem definida. Conforme Gomes e Melo (2014), a utilização do *App Inventor* para o desenvolvimento de aplicativos não exclui a necessidade de um processo de design mínimo, com a finalidade de servir como um norteador do projeto.

Para a elaboração do aplicativo, o MIT *App Inventor* fornece dois ambientes de trabalho: o *App Inventor Designer* e o *Block Editor*. Cada espaço de trabalho apresenta uma funcionalidade distinta para a criação. O primeiro fornece recursos para a construção das interfaces que se pretende disponibilizar ao usuário do aplicativo, como botões, janelas, imagens, entre outros elementos característicos de interfaces, além da vinculação de funções presentes no celular, como as de acesso aos dados do acelerômetro e Bluetooth. O segundo ambiente da plataforma visa o desenvolvimento dos itens criados na primeira etapa, a fim de orientar os respectivos procedimentos por meio da arquitetura de conexão de blocos, gerando as instruções e eventos de interações com o celular (FINILOZA *et al.* 2014).

A partir disso, foram definidas quatro etapas para o desenvolvimento do aplicativo, exemplificadas na Figura 4.

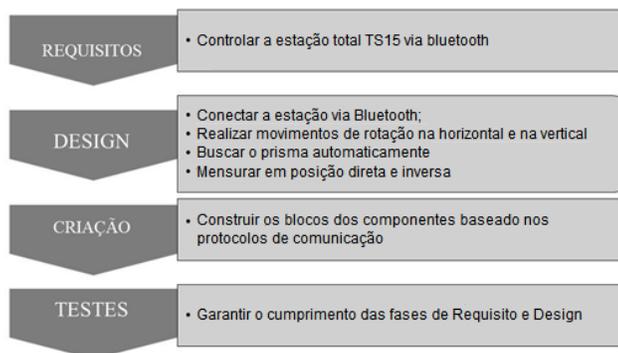


Figura 4 – Etapas de desenvolvimento do aplicativo.
Fonte: Os autores (2022).

A primeira etapa envolveu o requisito inicial, na qual foi definido o meio de comunicação para controle da estação total. Visando explorar o controle sem fio e os sensores disponíveis nos smartphones, optou-se pela utilização da comunicação via Bluetooth. Entretanto, cabe ressaltar que optar pela tecnologia Bluetooth impõe a restrição relacionada às distâncias entre os dois dispositivos.

O design do aplicativo foi estabelecido após a definição das ações a serem executadas pela estação total do aplicativo no smartphone. Além da função de ativar/desativar a conexão remota via Bluetooth, foram implementadas a função de movimento (giro) em relação aos eixos horizontal e vertical, a função de buscar prisma para localização automática do prisma e a medição dos ângulos e distâncias em Pontaria Direta (PD) e Pontaria Inversa (PI). Na Figura 5 é apresentado o esboço do aplicativo, no qual três telas principais foram projetadas.

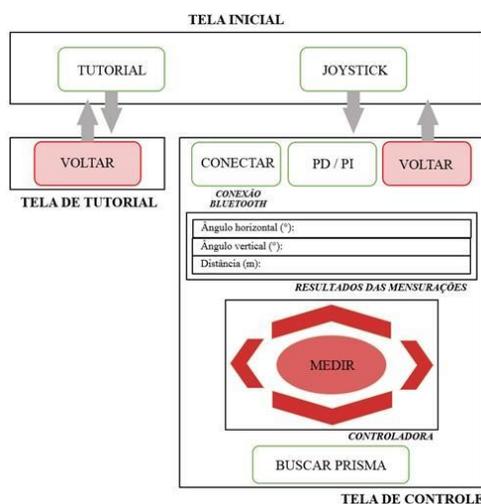


Figura 5 – Esboço do funcionamento lógico do aplicativo.
Fonte: Os autores (2022).

A primeira tela é a de abertura do aplicativo, denominada de Tela inicial, que apresenta informações gerais sobre o programa. Na segunda tela, nomeada Tela de Tutorial, são apresentadas as funcionalidades do aplicativo. A terceira, Tela de Controle, contém as interfaces com o usuário para o controle e medição com o instrumento.

Destaca-se que, apesar da implementação da função conexão com a estação total dentro do aplicativo, há a necessidade da ativação do sensor Bluetooth do smartphone e da estação total antes de se estabelecer a comunicação.

A comunicação entre smartphone e estação total foi implementada com o botão Conexão do aplicativo. Ao ativá-lo, a tela Conexão abre e nela são listados os dispositivos próximos com o Bluetooth ativo. Para estabelecer a comunicação, deve-se selecionar o dispositivo referente à estação total e digitar a senha de conexão definida, se houver.

O controle do movimento do instrumento foi implantado considerando os três tipos de rotação:

- Giro na horizontal do equipamento, que pode ser realizado através das setas a direita e esquerda no esquema de *joystick*.
- Giro na luneta no sentido do zênite e do nadir, também com o *joystick*.
- Tombamento da luneta (posições direta e inversa) através do botão específico.

Para a realização da leitura da direção horizontal, ângulo zenital e distância inclinada foi projetado no centro do *joystick* um botão. Os dados enviados pela estação ao smartphone são apresentados no campo logo acima das teclas de movimentação.

3. Resultados

O experimento resultou em um aplicativo para celulares Android capaz de controlar, de maneira remota, a estação total robotizada Leica TS15. Salienta-se que, por se tratar de um aplicativo em versão de testes, uma quantidade reduzida de funções foi inserida. No entanto, a abundância de protocolos presentes no instrumento e ampla possibilidade de desenvolvimento no *App Inventor* contribui para que versões futuras do aplicativo possam ser criadas contendo uma gama maior de funções.

A Figura 6 apresenta as interfaces criadas para o aplicativo que recebeu o nome de *TS15 Operator* e possui telas de comando que permitem a interação com o operador.



Figura 6 – Telas do *TS15 operator*.

Fonte: Os autores (2022).

A Figura 6A mostra a tela inicial do aplicativo, a partir da qual o operador tem a opção de clicar em “TUTORIAL” se desejar ver as instruções para conhecer o aplicativo, ou a opção de clicar em “JOYSTICK” se desejar controlar a Estação TS15.

A Figura 6B mostra a tela do tutorial, na qual o operador pode ler as informações e instruções de uso do aplicativo.

A Figura 6C mostra a tela do *joystick*, etapa em que o operador deve primeiro estabelecer a comunicação via Bluetooth clicando em “CONECTAR” e depois selecionar o dispositivo da estação total. Depois de estabelecida a comunicação, o operador pode operar a TS15 livremente através dos botões disponíveis nessa tela, sendo que ao clicar em “PROCURAR PRISMAS” a estação total executa a função de busca automática dos prismas e ao clicar em “MEDIR” aparecem os valores de ângulo horizontal, ângulo vertical e distância inclinada medidos pela TS15.

Na Figura 7, apresentam-se alguns dos blocos elaborados para execução das funções de controle desejadas no *Block Editor*, desenvolvidos posteriormente ao design das interfaces a partir dos protocolos de comunicação fornecidos pela empresa *Leica GeoSystems*.

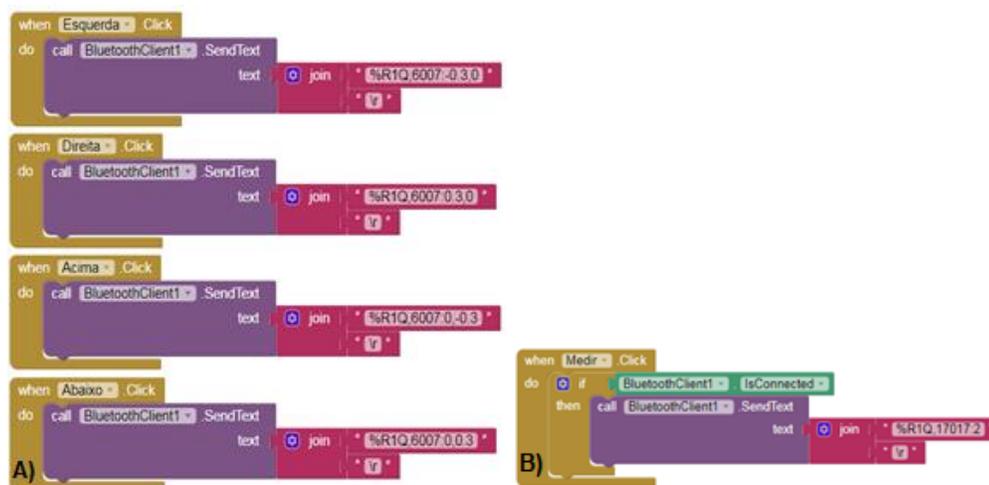


Figura 7 – Blocos de comando do joystick.
Fonte: Os autores (2022).

Um exemplo das funções é mostrada na Figura 7B, que mostra o bloco de comando do botão “MEDIR”. Esse bloco executa a seguinte função: quando o botão “MEDIR” é clicado, o smartphone enviará via Bluetooth o código “%R1Q,17017:2” para a estação total que, por sua vez, ao receber o código, realiza a medição e retorna ao smartphone os valores de ângulo horizontal, ângulo vertical e distância inclinada nos espaços indicados da Figura 6C.

3.1. Discussão

O aplicativo foi desenvolvido seguindo padrões de usabilidade que resultam em uma interação simples entre usuário e estação total. O uso desses padrões visa principalmente favorecer a intuitividade, a fim de facilitar a compreensão e operação do equipamento, pois para muitos usuários a operação de uma estação total não é tão compreensível quanto um aplicativo de celular e isso pode ser verificado com jovens alunos que não possuem tanta familiaridade com a interface da estação total, mas ao operar pelo aplicativo não apresentaram dificuldades devido a intuitividade da aplicação desenvolvida.

A possibilidade de operação remota de uma estação total em vez da operação direta na interface da estação traz inúmeros benefícios para a automação do levantamento geodésico. Um desses benefícios é a minimização da influência do operador no instrumento, evitando a transmissão de vibrações ao conjunto tripé/estação e reduz a possibilidade de movimentações involuntárias devido a choques com o tripé/instrumento ao realizar medições. Outro benefício é a atenuação dos efeitos da variação de temperatura próximo ao instrumento devido a presença humana, pois em levantamentos de alta precisão a medição de temperatura é um fator importante e a presença humana no equipamento pode afetar a medida destes valores.

Além desses benefícios, uma característica importante dessa ferramenta é a possibilidade da criação de aplicativos voltados às necessidades específicas do usuário, principalmente quando houver repetibilidade de levantamentos como por exemplo no monitoramento de estruturas, pois a partir do aplicativo o usuário pode realizar algumas adaptações para que os valores aproximados de ângulos horizontais e verticais de determinados pontos fiquem salvos na memória e que, ao realizar medições, o aplicativo já possa controlar a estação para fazer a leitura desses pontos.

Outro ponto a ser observado com a utilização da aplicação desenvolvida é a eliminação da etapa de transferência de dados do levantamento. Quando utiliza-se a operação direta na interface da estação, para trabalhar-se com os valores levantados é necessária a transferência de dados para o dispositivo que deseja-se processar. Já na operação pelo aplicativo, a transferência dos valores levantados é feita automaticamente durante o levantamento, visto que os dados já estão inseridos no smartphone e podem ser aplicados no processamento do levantamento.

Por fim, o aplicativo desenvolvido mostrou-se funcional, permitindo o controle de forma remota da estação total robotizada, o que demonstra tanto a potencialidade da integração Bluetooth entre smartphone/estação total como a simplificada operacionalidade da plataforma do MIT.

4. Considerações finais

O entendimento dos princípios de comunicação, transmissão de dados e funcionamento das estações totais fornecem o subsídio necessário para o desenvolvimento do aplicativo, sendo uma etapa fundamental no processo de automação dos levantamentos geodésicos.

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e experimentar um aplicativo que permitisse o controle e a operação remota de estações totais robotizadas. Como premissa de funcionamento, esse aplicativo deveria ser capaz de estabelecer a comunicação com o instrumento de medição, através do protocolo de comunicação estabelecido pelo fabricante do equipamento, comandar a movimentação do instrumento e executar a medição de um sistema de pontaria composto basicamente por um prisma refletivo.

Dessa forma, conclui-se que a criação de aplicativos para controlar equipamentos geodésicos, como estações totais robotizadas, contribui para a intuitividade de operação do usuário e para redução da influência do observador durante o processo de levantamento, fazendo com que o trabalho seja mais seguro e o risco de movimentação do conjunto tripé/estação seja reduzido.

Como a presente pesquisa foi elaborada tendo em vista a automação de levantamentos geodésicos, o aplicativo foi desenvolvido pensando-se nesse tema, porém sua função não se limita apenas a isso, podendo ser alterado ou adaptado para diversos fins. Esse tipo de metodologia de trabalho tem uma gama interessante de aplicações, pois sempre que houver repetibilidade de tarefas, torna-se interessante o uso de aplicativos que operam remotamente.

Salienta-se que as potencialidades levantadas nesta pesquisa contribuíram para o desenvolvimento de uma tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, que dará continuidade ao desenvolvimento de uma aplicação que automatiza a coleta e o processamento dos dados no monitoramento geodésico de barragens, onde a repetibilidade de levantamentos se faz presente.

Recomenda-se também que, em trabalhos futuros, sejam inseridas as diversas funcionalidades que compõem o processo de levantamento geodésico, para que este estudo possa ser utilizado em diversos tipos de levantamentos ou até mesmo em outros instrumentos geodésicos, como receptores GNSS, laser scanner terrestres, etc. Outra recomendação é que esta integração seja difundida também para os outros protocolos de comunicação existentes em outras empresas do ramo, como a Topcon, Trimble, etc.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES e CNPQ pelo apoio prestado por meio de bolsas de pesquisa para o desenvolvimento deste artigo.

Referências

- Aguilar, C. A. A.; Carvajal, F. A. R. *Validación de sistema de puntería automática en levantamientos topográficos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Universidad de Santiago de Chile, Santiago, 2014.
- Alves, S. S. O.; Carvajal, R. F. A.; Sampaio, L. F.; Medeiros, L. I. B.; Veiga, L. A. K. Avaliação laboratorial da parametrização de dados LST em superfícies planas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 3, 384-398, 2020.
- Carvajal, R. F. A.; Veiga, L. A. K. Desenvolvimento de interface para automação da coleta de temperatura baseada em redes multiestação aplicada ao monitoramento de estruturas empregando Estações Totais. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 71, n. 3, 781-805, 2019.
- Dabove, P.; Grasso, N.; Piras, M. Smartphone-Based Photogrammetry for the 3D Modeling of a Geomorphological Structure. *Applied Sciences*, v. 18, n. 9, 3884-1904, 2019.
- Engel, P.; Schweimler, B. Open Source Software development in Geodesy. *In Neubrandenburg University of Applied Sciences*. Disponível em: https://www.fig.net/resources/proceedings/2016/2016_03_jisdms_pdf/reviewed/JISDM_2016_submission_58.pdf. Acesso em: 13/05/2022
- Finizola, A. B.; Raposo, E. H. S.; Pereira M. B. P. N.; Gomes, W. S. Araújo A. L. S. O.; Souza F. V. C. O ensino de programação para dispositivos móveis utilizando o MIT-App Inventor com alunos do ensino médio. *Anais do*

Workshop de Informática na Escola, 337, 2014.

Fissore, F.; Masiero, A.; Piragnolo, M.; Pirotti, F.; Guarnieri, A.; Vettore, A. Towards Surveying with a Smartphone. In: CEFALO, R., ZIELIŃSKI, J., BARBARELLA, M. (eds). *New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham, 2018. p. 167-176.

Forouzan, B. A. *Comunicação de dados e redes de computadores*. São Paulo, Editora AMGH, 2010. 4p.

Gikas, V.; Daskalakis, S. Determining Rail Track Axis Geometry Using Satellite and Terrestrial Geodetic Data. *Survey Review*, v. 310, n. 40, 392-405, 2008.

Hauk, M.; Kirt, C.; Ackermann, C. Experiences with the Qdaedalus system for astrogeodetic determination of deflections of the vertical. *Survey Review*, v. 355, n. 49, 294-301, 2017.

Jäger, R.; Spohn, P.; GOCA. In *Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft*. Disponível em: http://goca.info/index_e.html. Acesso em: 21/11/2018.

Jerke, A. *Análise do monitoramento geodésico da barragem da usina hidrelétrica Mauá com equipamentos de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2019.

LEICA. Leica Geosystems. *Leica TPS1200-GeoCOM Getting Started Manual*. Suíça, 2006.

LEICA. Leica Geosystems. *TS15 User Manual*. Suíça, 2015.

Levin, E.; Nadolnits, N.; Akhmedov, D. *Surveying Instruments and Technology*. New York, USA: Taylor & Francis Group, 2017. 82p.

Loureiro, A. A. F.; Nogueira, J. M. S.; Ruiz, L. B.; Mini, D. A. de F.; Nakamura, E. F.; Figueiredo, C. M. S. Redes de Sensores Sem Fio. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, 179-226, 2003.

Lutes, A. J. *Automated dam displacement monitoring using a robotic total station*. 138f. Master thesis. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton-Canada, 2002.

Medeiros, L. I. B. *Monitoramento dinâmico de estruturas por diferentes técnicas geodésicas simultaneamente: estudo de caso de um ponto da passarela Politécnico Botânico da UFPR*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2020.

Medeiros, L. I. B.; Faggion, P. L.; Alves, S. S. O. Análise do Desempenho de ETR no Monitoramento Dinâmico de Estrutura Metálica por Leitura Contínua de Direções. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 2, 280-293, 2020.

Mlenek, D. C.; Veiga, L. A. K.; Palazzo, D. R.; Silva L. F. Monitoramento dinâmico de estruturas: Estudo comparativo entre técnicas. *Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva*, 14-18, 2017.

Nadal, M. A. D.; Veiga, L. A. K.; Faggion, P. L.; Nadal, C. A.; Soares, M. A. Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 5, n. 1, 18-30, 2017.

Oliveira, D. P.; Vaz, L. R. Desenvolvimento de aplicativo para smartphone destinado ao projeto geométrico de estradas. *VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba*, 1-6, 2016.

Omidalizarandi, M.; Paffenzholz, J. A.; Neumann, I. Automatic and accurate passive target centroid detection for applications in engineering geodesy. *Survey Review*, v. 4, n. 9, 1-16, 2018.

Petrie, G.; Toth, C. K. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2018.

Setan, H.; Idris, K. M. Automation in Data Capture and Analysis for Industrial/Deformation Surveying Using Robotic Total Station. *Integrating Generations FIG Working Week*, 2008.

-
- Silveira, P. D. N.; Mendes, V. F.; Ferrari, J. L. Aplicativo com processamento em tempo real para levantamento topográfico testado em área de produção cafeeira. *Coffee Science*, v. 12, n. 3, 297-306, 2017.
- Tedeschi, A. L.; Faggion, P. L.; Andolfato, S. H. D. Validação do sistema de automação de nível digital aplicado na determinação de recalques. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, n. 2, 352-370, 2017.
- Uradziński, M.; Bakula, M. Assessment of Static Positioning Accuracy Using Low-Cost Smartphone GPS Devices for Geodetic Survey Points' Determination and Monitoring. *Applied Sciences*, v. 10, n. 15, 5308-5330, 2020.
- Wilkins, R.; Bastin, G.; Chrzanowski A. Alert: a fully automated real time monitoring system. *11th FIG Symposium on Deformation Measurements*, 2003.
- Wróśyński, R.; Pyszny, K.; Sojka, M.; Przybyła, C.; Murat-Błaśejewska, S. Ground volume assessment using 'Structure from Motion' photogrammetry with a smartphone and a compact camera. *Open Geosciences*, v. 9, n. 1, 281-294, 2017.
- Zou, J.; Zhu, Y.; Xu, Y. Mobile precise trigonometric levelling system based on land vehicle: an alternative method for precise levelling. *Survey Review*, v. 355, n. 49, 249-258, 2017.