

Controle de Frequências Acadêmicas Por Meio de Dispositivos Beacons

Cássio E. da Silva¹, Paulo João Martins¹

¹Ciência da Computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)
Av. Universitária, 1105 – CEP: 88806-000 – Criciúma – SC – Brasil

contato@cassioelias.net.br, pjm@unesc.net

Abstract. *Frequency control is a sensitive subject, since it is present in organizations, institutions, companies, among others, in this way it is conceivable to employ technologies aimed at automating this process that tends to be long lasting. This article aims to locate current academics in a classroom, through 3D trilateration coupled with mobile technologies. To determine the distances necessary to implement the trilateration, emitter beacon devices were used. The results indicate that the application has a good accuracy in determining the position in situations where there are no objects between the sending and receiving devices.*

Resumo. *O controle de frequência é um assunto delicado, já que ele está presente em organizações, instituições, empresas, entre outras, dessa maneira é concebível empregar tecnologias que visem automatizar esse processo que tende a ser duradouro. Este artigo tem como objetivo localizar os acadêmicos vigentes em uma sala de aula, por meio da trilateração 3D acoplada às tecnologias móveis. Para determinar as distâncias necessárias para implementação da trilateração foram utilizados dispositivos beacons emissores. Os resultados indicam que a aplicação dispõe uma boa precisão na determinação da posição em situações em que não há objetos entre os dispositivos emissores e receptores.*

1. Introdução

Dentro do ambiente universitário a presença acadêmica é um dos pontos mais importantes a serem regidos, pois as universidades aplicam algumas avaliações tendo como base o nível de frequência, em paralelo os professores também consideram esse número para uma série de posicionamentos. Algumas universidades utilizam folhas de papel para efetivar o controle das frequências dos alunos e em sequência armazenam de modo manual em um sistema. Sendo assim, é possível identificar a carência de aplicações que utilizam a tecnologia disponível atualmente para efetiva automação, outro ponto discutível é em relação ao processo tradicional de checagem da presença que acaba tomando um tempo considerável de aula. Estima-se que é necessário em média cerca de 10 minutos para conclusão dos processos de registro da frequência de cada turma [Ghodekar et al. 2014].

Grande parte dos professores enfrentam dificuldades no gerenciamento das frequências dos alunos, sendo que alguns não possuem familiaridade com as tecnologias vigentes, assim acabam utilizando documentos impressos com os nomes dos alunos da turma. Após a classificação dos alunos presentes em sala de aula, os professores repassam as informações obtidas para o sistema acadêmico, dessa maneira o trabalho do professor acaba dobrando e as informações podem perder a integridade pelo respectivo atraso na

adição ao sistema, desconsiderando as possíveis brechas no processo, como o esquecimento e a perda das informações [SILVA 2012].

Dentro do ambiente escolar as coordenações orientam os professores para que dediquem um tempo do seu horário para realizar o registro das frequências visando os alunos ausentes, de modo a sinalizar a atual situação do aluno frente a frequência, de modo que acaba aumentando o tempo de realização da chamada totalizando cerca de 5 até 10 minutos para concluir [Chang 2011]. Sendo assim, o controle em ambientes internos, como os escolares e universitários, se faz cada vez mais necessário tendo em vista que com o potencial das tecnologias é possível agilizar esses processos problemáticos além de produzir outras informações para a instituição.

Conforme o levantamento bibliográfico, foram encontrados distintos trabalhos que objetivam realizar o controle de frequência acadêmica utilizando tecnologias vigentes. O trabalho desenvolvido por Melati (2002) objetiva a construção de um software e um hardware baseado em microcontroladores para gerir as frequências de alunos, para o desenvolvimento do trabalho foi empregado o uso de um cartão de biblioteca para que, por meio de um leitor de código de barras o microcontrolador indique e efetive a presença. Por fim o autor conclui que o objetivo foi alcançado e que as ferramentas empregadas se mostraram adequadas e eficientes para tal processo. O trabalho publicado por Amorim (2018) teve como objetivo realizar o controle de frequências acadêmicas por meio do reconhecimento facial dos indivíduos, neste trabalho foi realizado uma coleta de imagens para que fosse possível realizar o treinamento dos algoritmos baseados em inteligência artificial. A autora concluiu que os resultados obtidos não foram suficientes para realizar o monitoramento das frequências em sala de aula por conta de o banco de imagens ser pequeno, porém foi observado que com uma base maior poderiam obter melhores resultados. O trabalho defendido por Souza (2018) visou identificar os alunos através das funções do Qr-Code, onde os acadêmicos ao adentrarem em sala de aula escaneavam o código através de um aplicativo desenvolvido. Para resolver a tentativa de burlar o sistema realizando a cópia do Qr-Code, o aplicativo recolhia a localização atual do acadêmico e validava se o mesmo estava no raio de alcance da universidade. Os resultados foram satisfatórios como um novo método de captação de presença. A dissertação desenvolvida por Sanchez (2011) empregou conceitos de biometria para automatizar o controle da identificação dos discentes em sala de aula. O autor utilizou de um SDK da Griuale Biometrics que dispõe de alguns mecanismos de captura de imagem através de um sensor biométrico pré-configurado. Por fim, o autor concluiu que a solução proposta foi satisfatória e atingiu seu objetivo. O artigo proposto por Nawaz, Pervaiz, Korrani (2009) objetivou automatizar o registro das participações de acadêmicos dentro de palestras, eventos e horários letivos. Para reconhecer o aluno presente em sala de aula os autores optaram por utilizar a impressão digital como principal tecnologia, na qual é capturada a impressão digital do aluno onde o *software* desenvolvido recupera as informações do mesmo caso o encontre em sua base de dados. Os autores concluíram que o protótipo desenvolvido é confiável, seguro e rápido, viável para substituir o modelo atual não confiável de registro de frequências.

Os beacons são pequenos hardwares transmissores de sinais que atuam via *Bluetooth Low Energy* e podem ser utilizados para navegação em lojas, posicionamento interno e monitoração. A tecnologia possui maior exatidão dentro de locais internos, no qual a precisão do sinal pode ser refinada, de modo a obter valores justos [Liu and Hsieh 2019]. A medida da distância até os dispositivos beacons é realizada com base na indicação de força do sinal recebido (RSSI) [Kim and Lee 2014]. Levando em conta os

recursos disponibilizados pela tecnologia é concebível estimar as respectivas distâncias entre dispositivos vigentes.

Partindo dos estudos realizados foi constatado a escassez de um sistema capaz de otimizar o tempo disponível dentro de sala de aula. Em vista disto, este trabalho tem como objetivo principal identificar os acadêmicos presentes em sala de aula de modo autônomo, a fim de prover um aproveitamento mais eficiente do tempo disponível em sala de aula.

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em: descrever os conceitos de localização interna (indoor); compreender e aplicar as funcionalidades da tecnologia Beacon; elucidar e utilizar o cálculo que identifica distância entre os dispositivos imediatos; realizar a comunicação de dados de modo simultâneo entre os dispositivos; integrar o Beacon em conjunto as tecnologias móveis; registrar a presença do aluno por meio dos dispositivos Beacons.

O presente artigo tem por motivação guarnecer as frequências acadêmicas considerando que por mais qualificada que seja, a universidade não pode avaliar, dentro das salas de aulas, os desafios que se agigantam no contexto da sociedade moderna [Marcovitch 2011]. Modernamente não existe uma metodologia que verifique 100% a presença do aluno dentro do período letivo. A tentativa de encolher as taxas de evasão são grandes objetivos no gerenciamento escolar, já que o não comparecimento afeta tanto os estudantes quanto os demais membros que atuam dentro do ambiente letivo [Chang 2011]. Conforme a lei 9.394/96, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional o controle da frequência dos alunos fica sobre responsabilidade da instituição de ensino, a lei também incube e exige o cumprimento mínimo de setenta e cinco por cento (75%) do total de horas para aprovação. Em comparação com outras tecnologias existentes como o RFID o Beacon se destaca por seu custo de hardware muito baixo e uma alta compatibilidade com a maioria dos dispositivos móveis [Elser et al. 2020]. Ao empregar as funcionalidades do Beacon BLE em um sistema capaz de monitorar o processo de registro de frequências acadêmicas é possível obter além da confirmação dos indivíduos o tempo que cada um se fez presente a partir disso uma série de informações podem ser captadas.

2. Materiais e métodos

Esta pesquisa é aplicada de base tecnológica e explicativa. De modo a atingir os objetivos propostos nesta pesquisa e analisar as hipóteses, realizou-se a integração entre os dispositivos smartphones e os dispositivos beacons a fim de monitorar os acadêmicos presentes dentro dos horários letivos por meio da captação da distância entre o smartphone do aluno e os beacons preposicionados dentro da sala de aula, mediante um algoritmo de trilateração. A integração resulta em um aplicativo móvel constituído de três estágios, o primeiro foi denominado de estágio interativo e ele é responsável por prover as interatividades visuais entre a interface e o usuário a mesma ainda realiza a comunicação com o segundo e terceiro estágio. O segundo estágio, denominado emissor, cujo critério é fornecer o RSSI para o primeiro estágio no qual é possível convertê-lo em distância. Por fim, o último estágio, nomeado como servidor, objetiva gerir as informações necessárias para determinar a posição do acadêmico presente em sala de aula, em paralelo a um banco de dados, bem como o armazenamento dos resultados obtidos. Os estágios seguem a estrutura da figura 1, no qual é possível interpretar as ações pertinentes.

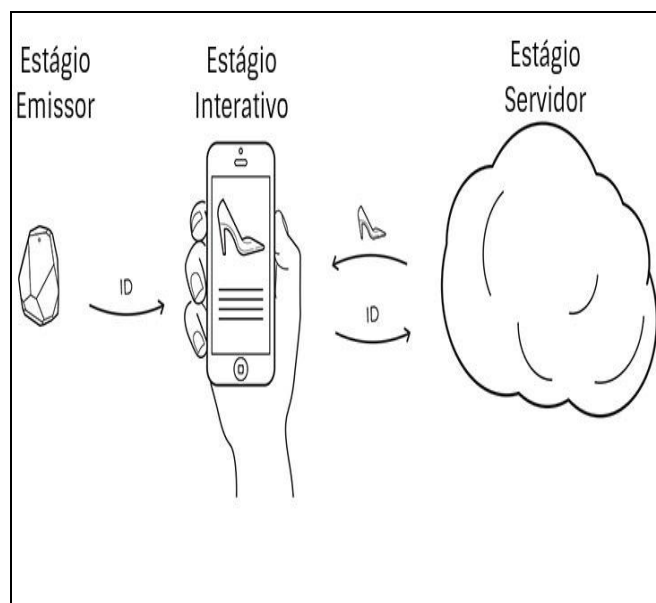


Figura 1. Estágios da aplicação.

O dispositivo emissor é composto por um hardware capaz de propagar sinais via bluetooth, a partir da versão 4.0, para todos os dispositivos ao seu redor. O módulo móvel é constituído por um aplicativo que capta o sinal recebido em decibéis pelo beacon e posteriormente aplica algumas técnicas para converter o sinal recebido em distância onde é aplicado um algoritmo de trilateração para determinar a posição do dispositivo leitor. O módulo servidor gere as informações necessárias para que o aplicativo consiga realizar a gestão.

2.1. Estágio Interativo

O aplicativo foi desenvolvido na linguagem de programação Java, versão 8, no qual optou-se pelo uso do *Android Studio* como *Integrated Development Environment* (IDE) por ser a oficial plataforma assegurada pelo Google, para o desenvolvimento de aplicativos cujo sistema operacional é o Android. As bibliotecas utilizadas foram: Google Material versão 1.2.1, Retrofit versão 2.1.0 e Altbeacon Library versão 2. Todas as bibliotecas referenciadas foram disponibilizadas pelo gerenciador de pacotes do Android Studio.

A biblioteca Google Material concedeu a possibilidade de estilizar o aplicativo seguindo padrões Material Design. Já a biblioteca Retrofit permitiu a comunicação através do Hypertext Transfer Protocol (HTTP) com a api desenvolvida no módulo servidor por meio das rotas programadas. Por fim, a biblioteca Altbeacon dispõe a possibilidade de realizar a comunicação entre dispositivos androids e os dispositivos beacons o que permitiu acessar o valor do sinal recebido (RSSI) para conversão em distância posteriormente.

O aplicativo é constituído de três representações gráficas a primeira apresenta quatro quadrantes que representam os quatro horários letivos de aula dentro de uma universidade, os quatro horários foram previamente definidos considerando o turno noturno sendo 19:15, 20:05, 21:10 e 22:00, respectivamente. A segunda representação gráfica é responsável por apresentar as frequências já computadas, em que é possível escolher determinada aula e verificar os status da frequência selecionada, já a terceira representação gráfica foi planejada para realizar a sincronização com o servidor remoto já que o aplicativo necessita apenas que o usuário realize a autenticação uma única vez

por dia para agir. Para realizar a sincronização foi utilizado o SQLite para armazenar no dispositivo as requisições falhas em relação a Internet, para que adiante seja possível realizar o envio ao servidor remoto. Na inicialização do aplicativo esse consulta no servidor, tendo como base o id do acadêmico e o dia da semana, a fim obter algumas informações sobre a aula no dia do acesso, comprimento, altura e largura da sala de aula, e os ids dos quatros beacons preposicionados dentro do ambiente, no qual esses dados são utilização no algoritmo de trilateração 3D, (discutido na seção 2.3), de forma a determinar a posição e validar se o acadêmico está presente ou não em sala de aula. A figura 2 demonstra as telas desenvolvidas dentro do aplicativo.

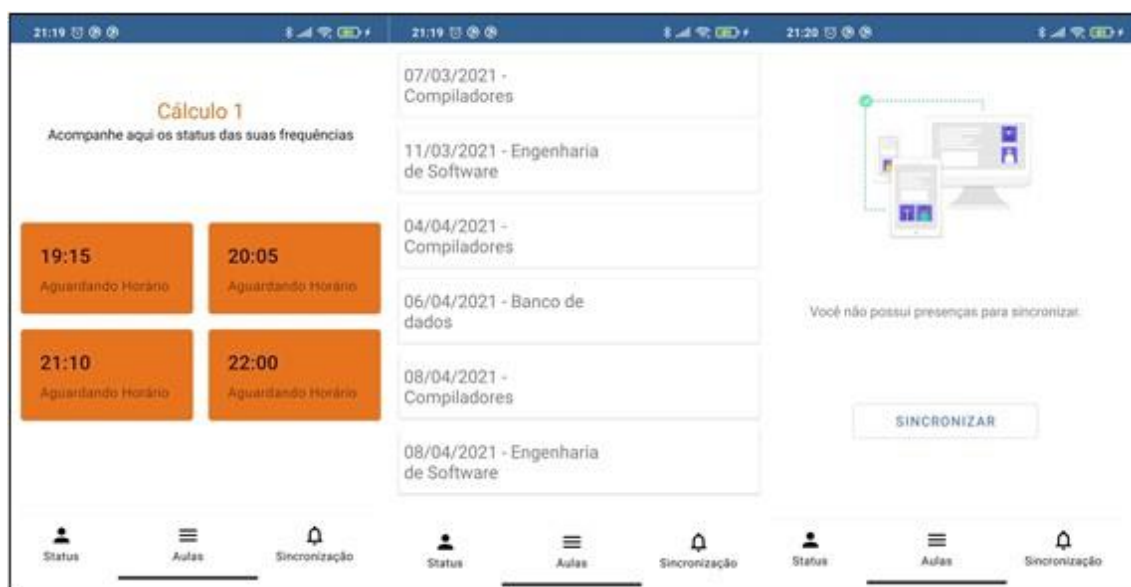


Figura 2. Interações principais do aplicativo

2.2. Estágio Emissor

Para realização desta etapa empregaram-se três beacons do tipo bluetooth 4.0 módulo Nrf51822 e por meio de um smartphone, que atende os requisitos para utilização do beacon com suporte ao Android versão 10, foi estruturado o último beacon mediante a utilização de um aplicativo chamado Beacon Simulator, onde é possível transformar um dispositivo Android em um dispositivo beacon emissor. A tabela 2 demonstra a comparação do RSSI, em dbm (decibéis), capturado tanto pelo beacon quanto pelo smartphone, cujos valores são similares no qual é atestado que smartphones podem ser utilizados como beacons emissores, desde que possuam Bluetooth versão 4.0 ou superior.

Tabela 2. Comparação de leitura do RSSI

Distância(m)	Beacon(dbm)	Smartphone(dbm)
0.5	-52	-51
1	-59	-59
1.5	-63	-61
2	-66	-67
2.5	-71	-70

Apesar das fórmulas sugeridas pela teoria do sinal, o preditor mais preciso da distância, baseado na intensidade do sinal (RSSI), pode ser obtido fazendo uma regressão

de potência versus uma tabela conhecida de valores de distância / RSSI. Então usa-se a seguinte fórmula:

$$d = A(r/t)^B \quad (1)$$

A equação 1 está constituída por duas variáveis e duas constantes, a primeira variável, r, refere-se ao valor do RSSI capturado pelo aplicativo em um determinado momento e distância, já a segunda variável, t, é destinada ao valor de referência do RSSI em 1 metro. Para determinar os valores das constantes A, B, foi empregado o uso do método regressão de potência, onde foi realizado uma medição do RSSI de um único beacon em diferentes distâncias em metros, a partir da coleta desses dados foi realizado a divisão do respectivo valor sobre o RSSI de referência em 1 metro, essa divisão foi denominada de Razão, como é demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Valores dos sinais recolhidos

RSSI	Razão (r/t)	Distância(m)
-52	0.8813559322	0.5
-59	1	1
-62	1.0508474576	1.5
-67	1.1355932203	2
-72	1.2203389831	2.5
-77	1.3050847458	3
-78	1.3220338983	3.5
-79	1.3389830508	4
-80	1.3559322034	4.5
-87	1.4745762712	5
-88	1.4915254237	5.5
-90	1.5254237288	6

Para determinar o valor da constante A e B usou-se o método *Nonlinear Power Curve* da ferramenta estatística mycurvefit¹, onde foi mensurado as respectivas constantes sobrepondo os valores da tabela 2. Neste método aplicado o valor obtido para a constante A é igual a 1.21048799471367 já o resultado referente a constante B é igual a 3.80426309935817, no qual foi empregado o maior número de casas decimais possível, visando obter o melhor resultado para as estimativas das distâncias. A partir dos passos evidenciados anteriormente foi acrescentado uma nova constante denominada de C, que é determinada realizando a subtração de um metro da distância calculada em um metro a partir da equação 1. Em consequência, foi possível acrescentar a nova constante junto a equação 1, sendo representada na equação 2, a inclusão da nova constante permitiu maior precisão na estimativa das distâncias.

$$d = A(r/t)^B + C \quad (2)$$

Após estipular os valores das constantes A, B e C, foi aplicado o uso da equação 2, para determinar as distâncias onde averiguou-se que a precisão dos resultados sofre

¹ <https://mycurvefit.com>

declínio a partir de 4 metros. Para essa situação foi empregado, uma nova regressão de potência, o objetivo de construir novas constantes de forma a implementar um método flexível. Nessa regressão, trocou-se o valor da variável t , e o valor de referência passou a ser baseado em 4 metros, contudo as distâncias obtidas não foram significativas.

O beacon por si só não é justo (pouco preciso), o suficiente para ser utilizado como uma estratégia para sistemas de localização, a tecnologia é indicada para situações de classificação do dispositivo receptor, em: longe, perto ou imediato. Além de, empregar a regressão de potência, de forma a determinar os valores das constantes, foi necessário ajustar os outliers, em valores que fogem da curva.

Dados outliers são valores anormais que não consistem com a classificação regular dos dados, são considerados atípicos como uma redução no ruído e na qualidade do sinal e apresentam efeitos divergentes no desempenho das informações, por consequência são considerados como dados ruins [Sun et al. 2018]. A técnica empregada nesta pesquisa visa desconsiderar valores superiores e inferiores a 10 por cento da média dos sinais já captados.

2.3. Algoritmo de Trilateração

A trilateração é um procedimento aplicado para determinar a posição de um ponto desconhecido a partir de três, para localização 2D e quatro pontos, para localização 3D, a partir de posições conhecidas [Rodrigues et al. 2014]. No enquadramento do problema os beacons foram posicionados de modo que suas posições não sejam coplanares. Em geometria um grupo de pontos no espaço são ditos coplanares quando todos os pontos estão no mesmo plano.

Sejam B_i (B_{ix} , B_{iy} , B_{iz}) as coordenadas dos quatro beacons, onde $i = 1, 2, 3, 4$ e d_i sendo as distâncias exatas do smartphone aos beacons, os princípios iniciais do problema são determinados pelo sistema de equação 3.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x - b_{1x})^2 + (y - b_{1y})^2 + (z - b_{1z})^2 \\ d_2^2 &= (x - b_{2x})^2 + (y - b_{2y})^2 + (z - b_{2z})^2 \\ d_3^2 &= (x - b_{3x})^2 + (y - b_{3y})^2 + (z - b_{3z})^2 \\ d_4^2 &= (x - b_{4x})^2 + (y - b_{4y})^2 + (z - b_{4z})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

As coordenadas do receptor são dadas pelo resultado entre a interseção das esferas indicadas pelas equações do sistema anterior. Se os beacons emissores forem caracterizados por pontos não coplanares, logo o sistema anterior tem uma única solução [Pereira 2014]. Objetivando simplificar o sistema de equação 3 foi aplicado algumas transformações lineares de forma que os beacons sejam posicionados nas seguintes posições. O beacon 1 (A) foi fixado na posição (0, 0, 0) da sala de aula. Já o beacon 2 (B) foi fixado na posição (h, 0, 0) onde h é a medida máxima em metros do comprimento da sala de aula, denotado em vermelho na figura 3. O beacon 3 (C) foi fixado na posição (i, j, 0) em que i representa a medida da posição x em metros, definida como zero, a variável j retrata o valor da posição y, seu valor é igual a medida máxima da largura da sala de aula, indicado em verde na figura 3. Por fim o beacon 4 (D) foi fixado na posição (k, l, m) na qual k representa a posição x cuja medida é igual ao valor máximo do comprimento da sala de aula dividido por 2, já l representa a posição y cuja medida é igual ao valor máximo da largura da sala de aula dividido por 2 e por fim m representa a posição z cuja

medida é igual ao valor máximo da altura da respectiva sala de aula, retratado em azul na figura 3. Tendo os posicionamentos anteriores como instruções fica perceptível que os beacon envolvem o espaço na qual estão, assim é possível aplicar o algoritmo de trilateração.

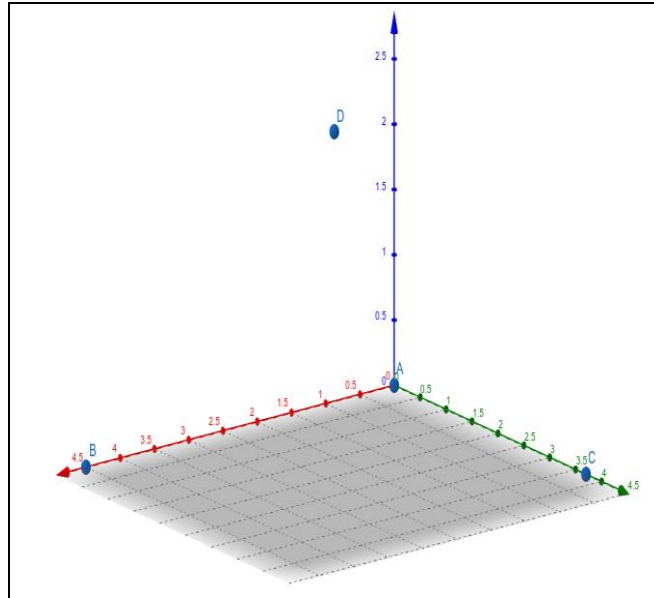


Figura 3. Posicionamento inicial dos beacons

Após efetuar os posicionamentos dos beacons é possível reescrever a equação 3, substituindo as variáveis de posicionamento dos beacons detalhadas anteriormente, na qual surge a equação 4.

$$\begin{aligned}
 d_1^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\
 d_2^2 &= (x - h)^2 + y^2 + z^2 \\
 d_3^2 &= (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \\
 d_4^2 &= (x - k)^2 + (y - l)^2 + (z - m)^2
 \end{aligned} \tag{4}$$

Fundamentando-se a partir da equação 4, a segunda, terceira e quarta igualdade podem ser remodeladas em equações lineares mediante a subtração da primeira equação. Os passos aplicados encontram-se na equação 5, em que i é igual a 2, 3 e 4, na devida ordem.

$$d_i^2 - d_1^2 = -2b_{ix}x + b_{ix}^2 - 2b_{iy}y + b_{iy}^2 - 2b_{iz}z + b_{iz}^2 \tag{5}$$

Reescrevendo as equações resultantes das operações realizadas a partir da equação 5, obtém-se a equivalência indicada na equação 6, em que x , y e z são as coordenadas do smartphone presente em sala de aula.

$$\begin{aligned}
d_1^2 &= x^2 + y^2 + z^2 \\
x &= \frac{d_1^2 - d_2^2 + h^2}{2h} \\
y &= \frac{d_1^2 - d_3^2 - i^2 + j^2 - 2ix}{2i} \\
z &= \frac{d_1^2 - d_4^2 + k^2 + l^2 + m^2 - 2kx - 2ly}{2m}
\end{aligned} \tag{6}$$

Depois de tais posicionamentos e equivalências foi constatado que os beacons A e B acabam sendo responsáveis por determinar a posição x, em paralelo os beacons A e C, juntamente a posição x do dispositivo, calcula a posição y e, por fim os beacon A e D, juntamente a posição y do dispositivo, incubem-se a prover a posição z do respectivo dispositivo presente.

2.4. Estágio Servidor

O servidor foi criado em linguagem JavaScript (JS) no ambiente de desenvolvimento IntelliJ, versão 2020.3.4. Para concretizar o código a nível de backend foi utilizado o Node.js, versão 12.18.3, onde foi empregado o uso do framework express pois o mesmo fornece um conjunto robusto de recursos que facilita o desenvolvimento com Node.js. Foi usado a biblioteca mysql2, versão 2.2.5, para realizar a conexão com o banco de dados. As bibliotecas utilizadas foram cedidas pelo gerenciador de pacotes Node Package Manager (NPM). Além destas bibliotecas foi aplicado o uso do docker, versão 20.10.1 para deploy em um servidor remoto em nuvem.

Para configurar o acesso ao servidor foi realizado a configuração do nginx, versão 1.14.0, o mesmo atua como um proxy reverso, na qual foi plausível exercer o redirecionamento para o DNS definido como scf.cassioelias.br, abreviação de servidor controle frequência, já o domínio, cassioelias.net.br, foi disponibilizado pelo registro.br que é um departamento responsável pelas atividades de registro e manutenção de nomes e domínios que utilizam o .br.

3. Resultados e discussões

Para a coleta de dados foi empregado um método quantitativo em um estudo transversal dentro de um laboratório de teste, o mesmo possuindo 2.60 metros de altura, 4.55 metros de comprimento e 3.70 metros de largura, no qual não foi possível realizar a coleta dos dados a campo em virtude do período pandêmico, COVID-19. Considerando o primeiro cenário de teste demonstrado na figura 2 foram realizadas 3 simulações, de modo a validar a efetividade do posicionamento dos beacons. No primeiro teste a posição calculada foi (x: 1.85, y: 2, z: 1.03) cujo valor real em metros é (x: 2.30, y: 3, z: 1.05), o segundo teste a posição calculada foi (x: 0.45, y: 1.88, z: 0.93) cujo valor real em metros é (x: 1, y: 3, z: 1.30), já para o terceiro teste a posição descoberta foi (x: 2.74, y: 2.14, z: 1.53) no qual o valor real em metros é (x: 4.10, y: 3, z: 0.86). Partindo do pressuposto que as distâncias obtidas não seriam precisas o suficiente devido a possíveis interferências, entre os dispositivos emissores e receptores, no qual os beacons A, B e C situam-se em posições extremas da sala de aula onde normalmente há estruturas como mesas, carteiras, portas, armários, entre outras, o sinal recebido torna-se impreciso o que ocasionalmente resultaria em cálculos incorretos. Para evitar esse tipo de situação foi reestruturada as posições dos beacons, conforme é apresentado na figura 4. Desta maneira o posicionamento dos

beacons se torna abrangente e menos suscetível a interferências, o que resulta em melhores estimativas em relação a distância. A tomada de decisão sobre a reestruturação foi considerada tendo como premissa o espaço que tende a conter maior amplitude sem qualquer tipo de objeto que tende a sabotar o sinal recebido. Os beacons A, B e C foram posicionados juntamente a parede onde fica a lousa ou quadro-negro, já o beacon D foi fixado no fundo da sala de aula. Essa reestruturação pode ser realizada pois as posições dos beacons ainda são coplanares.

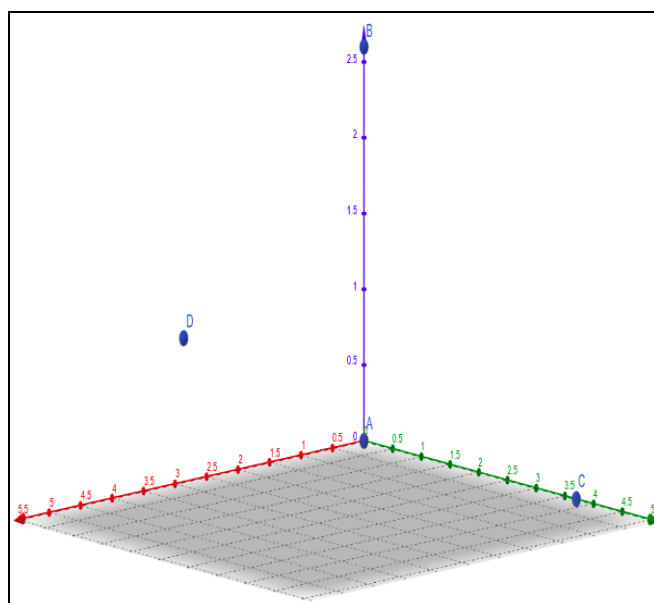


Figura 4. Posicionamento final dos beacons

A partir da reestruturação dos beacons demonstrada na figura 4, foi realizada uma nova coleta de dados para a qual foram realizadas 5 novas simulações. Para a primeira simulação foi removido do laboratório de teste todo tipo de objeto que interfere no sinal, no qual a posição obtida foi (x: 2.60 y: 1.75, z: 0.97) onde a posição exata é (x: 2.75 y: 1.64, z: 1.05). A segunda simulação seguiu os mesmos passos do primeiro no qual a posição calculada foi (x: 1.90, y: 1.95, z: 1.45) cuja posição real é (x: 2.05, y: 2.23, z: 1.05). Para a terceira, quarta e quinta simulação foi adicionado os objetos que estavam presentes no laboratório de teste, de modo a simular o contexto real de uma sala de aula real. No terceiro teste a posição calculada foi (x: 2.12, y: 1.03, z: 1.32) para as posições reais (x: 2.73, y: 1.36, z: 1.05). O quarto teste a posição calculada foi (x: 3.15, y: 2.94, z: 0.78) no qual o resultado calculado real é (x: 3.5, y: 3.30, z: 1.05). O resultado do quinto e último teste foi (x: 2.60, y: 0.81, z: 1.41) cuja posição real é (x: 3.16, y: 1.04, z: 1.53).

Para a primeira e segunda simulação os resultados obtidos em comparação as posições reais demonstraram grande significância no quesito posição, porém a partir do momento em que foi adicionado os objetos pertinentes a uma sala de aula os resultados demonstraram certa divergência quanto à posição, embora todas as presenças tenham sido computadas corretamente. Partindo deste fundamento foi adicionado uma tolerância de 15 centímetros na validação das posições calculadas, uma observação a ser considerada em relação a acadêmicos que por virtude tendem a querer burlar essa tolerância se posicionando em paralelo ao lado de fora da parede da sala de aula, no qual isso não é possível já que as estruturas das paredes sólidas interferem gradativamente o valor do RSSI utilizado para estimar a distância o que resulta em cálculos inconsistentes.

A reestruturação se demonstrou como um grande resultado para esta pesquisa, pois como as beacons estão em posições limpas, sem interferência de objetos, a estimativa das distâncias se tornou assertiva e coesa.

A hipótese proposta se corroborou como uma solução eficiente para validar as presenças acadêmicas, porém a partir do momento que possa vir a existir objetos entre os dispositivos situados o cálculo da distância não é proveitoso. As devidas coletas de dados para realização da regressão de potência foram fundamentais para estipular as distâncias entre o smartphone dos acadêmicos e os beacons bem como o método de outlier cujo objetivo é desconsiderar valores de RSSI superiores e inferiores à média dos sinais já computados. Nos testes aplicados o *software* se demonstrou ágil em relação ao tempo de resposta das requisições e na leitura dos beacons. Foi empregado uma estratégia que possibilitou a utilização do aplicativo sem a necessidade vitalícia de Internet, no qual foi realizado o armazenamento na memória *cache* as informações necessárias para implementar o algoritmo de trilateração, como o id do acadêmico, o id da aula do respectivo dia de acesso bem como as medidas do local da prestação da aula, isso se demonstrou como um proveitoso recurso em relação a contingência. Quanto ao servidor não foi possível mensurar sua performance, de modo a simular uma sala de aula, devido a um número limitado de smartphones disponíveis para os testes. A regressão de potência se demonstrou uma etapa crucial para a estimativa das distâncias já que ela fornece as constantes da equação da distância.

O número excessivo de objetos e de pessoas em frente aos dispositivos beacons dificultam a estimativa da distância já que o sinal é enfraquecido e consequentemente os valores empregados no algoritmo de trilateração serão contraditórias as posições reais o que pode levar o acadêmico a receber falta mesmo estando presente.

Em virtude dos requisitos para aplicar o algoritmo de trilateração foi estruturado um fluxograma, figura 5, que delineou a série de etapas realizadas para determinar se o acadêmico está presente ou ausente, o que agilizou o desenvolvimento do produto.

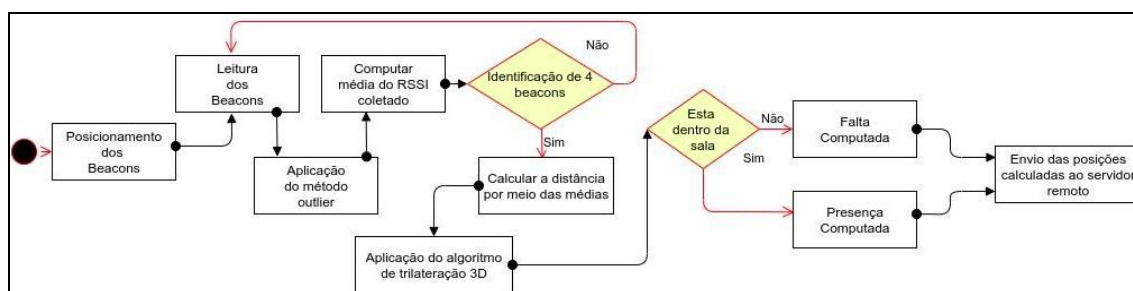


Figura 5. Fluxograma da atividade da detecção de beacons e ações para validar a presença do acadêmico

As pesquisas aplicadas por Amorim (2018), Sanchez (2011), Souza (2018), Melati (2002) e Nawaz, Pervaiz, Korrani (2009) objetivam promover tecnologias que auxiliem o processo validatório das presenças acadêmicas. Os resultados obtidos por Amorim (2018), no qual a autora empregou o uso do reconhecimento facial, cuja tecnologia tende a obter um aproveitamento superior e mais confiável em relação aos beacons, contudo este trabalho se demonstrou mais eficiente no objetivo final por conta de o banco de dados de imagens da autora ser pequeno, o que levou a inconsistência dos resultados entregues pelo algoritmo aplicado. Os trabalhos de Sanchez (2011) e Nawaz, Pervaiz, Korrani (2009) corroboram o uso da biometria o que ampliou a confiabilidade das informações em relação aos beacons em contraparte o procedimento da biometria pode gerar alvoroço e aglomerações em determinados períodos, onde na utilização dos beacons o mesmo não

acontece, porém o uso da biometria se demonstrou mais eficiente para computar as frequências acadêmicas. Souza (2018) efetuou o uso do Qr-Code em conjunto a um sistema de posicionamento global, GPS, para determinar se a posição do acadêmico está no raio do ambiente letivo, no qual o quesito segurança é discutível já que é tangível fraudar o GPS do Android, o que não acontece na presente pesquisa. Já em comparação a pesquisa de Melati (2009) no qual foi utilizado cartões de biblioteca com leitores de código de barras para efetivar a presença esta pesquisa oferta maior aproveitamento do tempo disposto em sala de aula no qual a mesma não necessita que os acadêmicos se locomovam até o leitor, o que poderia gerar aglomerações.

4. Conclusão

Este artigo aplicou as funcionalidades dos dispositivos beacons em um protótipo que viabiliza reger as frequências acadêmicas. O produto se demonstrou como uma solução versátil no qual foi possível efetivar as presenças dos acadêmicos mesmo sem o uso de Internet. Os resultados atingidos certificaram os procedimentos aplicados na acurácia da distância dos beacons o que ramificou a competência em relação aos objetivos da pesquisa, embora em alguns cenários a mesma acurácia não se demonstrou eficaz, por conta do sinal enfraquecido por objetos pertinentes. Mediante ao reposicionamento dos beacons evidenciou-se o acréscimo na precisão das distâncias o que conseqüentemente resultou em cálculos precisos, exceto para as situações em que existe muitos obstáculos frente ao dispositivo beacon emissor o que aflige o cálculo das distâncias, que são pontos cruciais para determinar a posição do acadêmico através de um algoritmo de trilateração.

As repercussões obtidas a partir da regressão de potência se evidenciaram como soluções pragmáticas para determinar a distância entre os dispositivos, até seis metros. Porém para que a mesma possa ser aplicada em locais cuja área seja superior a implementada uma nova medição dos valores de RSSI se faz necessário em conjunto a uma nova implementação de regressão de potência.

O Algoritmo adotado comprovou ser apto a determinar as respectivas posições de um ponto a partir da intersecção de três outros pontos para localização 2D e quatro outros pontos para localização 3D. Ele demonstrou 100% de precisão quando obtido as distâncias exatas entre os pontos emissores e receptores.

Com base nos conhecimentos adquiridos, bem como os resultados obtidos, propõe-se para trabalhos futuros: Empregar o uso de tecnologias diferentes para determinar a distância, como o RFID, de modo a analisar suas equivalências e diferenças; utilizar a base de dados obtida a partir da implementação desta pesquisa para gerir demais informações como relatórios que demonstram os períodos com maior número de faltas acrescentando o módulo professor dentro do aplicativo no qual seria possível visualizar os status das frequências computadas em suas respectivas disciplinas; Processamento em background, para leitura dos beacons e comunicação com o servidor; Implementação do algoritmo de multilateração, para além de efetivar a presença acadêmico dentro das sala de aulas, supervisor os acadêmicos presentes no âmbito universitário, de modo a promover um novo ecossistema de Campus Inteligente. Visando um ambiente de produção e a partir das pesquisas correlatas, bem como, os resultados obtidos nesta pesquisa, corrobora-se o uso do reconhecimento facial como principal tecnologia para validar os acadêmicos presentes em sala de aula, por fim propõe se o uso de um volume maior de beacons integrado ao algoritmo de multilateração.

5. Referências

- Amorim, T. T. (2018). Comparação De Técnicas De Reconhecimento Facial no Controle De Frequência Acadêmica. . <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/1100>.
- Chang, C. H. (2011). Smart classroom roll caller system with IOT architecture. *Proceedings - 2011 2nd International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications, IBICA 2011*, p. 356–360.
- Elser, H., Jongebloed, P., Buschmann, D., Ellerich, M. and Schmitt, R. H. (2020). Potentials of Bluetooth Low Energy Beacons for order tracing in single and small batch production. *Procedia CIRP*, v. 97, p. 202–210.
- Ghodekar, V., Kute, A. and Patil, S. (2014). Automated Attendance system with RFID through SMART CARD. v. 2, n. 4, p. 146–151.
- Kajikawa, N., Minami, Y., Kohno, E. and Kakuda, Y. (2017). On availability and energy consumption of the fast connection establishment method by using bluetooth classic and bluetooth low energy. *Proceedings - 2016 4th International Symposium on Computing and Networking, CANDAR 2016*, p. 286–290.
- Kim, C. and Lee, S. (2014). A research on Beacon code architecture extension using category and code Beacon structure. *International Conference on ICT Convergence*, p. 187–188.
- Liu, D. Y. and Hsieh, C. Y. (2019). Study of indoor exhibitions using BEACON's mobile navigation. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing, ICAM 2018*, p. 335–337.
- Marcovitch, J. (2011). Estudos avançados na universidade. *Estudos Avancados*, v. 25, n. 73, p. 127–132.
- Martín-Arias, M., Huerta-Medina, N. and Rico-Secades, M. (2013). Using wireless technologies in Lighting Smart Grids. *Conference and Exhibition - 2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances, SmartMILE 2013*.
- Nawaz, T., Pervaiz, S. and Korrani, A. (2009). Development of Academic Attendance Monitoring System Using Fingerprint Identification. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, v. 9, n. 5, p. 164–168.
- Pereira, A. R. (2014). Multilateração para Localização Indoor.
- Rodrigues, C. M., Sauerwein, I. P. S. and Sauerwein, R. A. (2014). Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, p. 1–7.
- Sanchez, M. P. (2011). REGISTRO DE FREQUÊNCIA DE DISCENTES POR MEIO DE BIOMETRIA. . <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/708>.
- SILVA, Ruhan Bruno Carolino da. **PRESENCE Desenvolvimento de um aplicativo Android para Gerenciamento de Frequência Acadêmica**. 2012. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade Estadual no Norte do Paraná, Bandeirantes, 2012. Disponível em: <http://200.201.11.152/handle/123456789/95>. Acesso em: 3 jun. 2021.
- Souza, M. M. De (2018). Aplicativo móvel para confirmação de presença em aulas. . <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191931?show=full>.

Sun, L., Zhou, K., Zhang, X. and Yang, S. (2018). Outlier Data Treatment Methods Toward Smart Grid Applications. *IEEE Access*, v. 6, p. 39849–39859.

MELATI, F. L. D. S. (2002). Protótipo de um hardware para controle de frequência acadêmica. p. 49.