

Registro Ubíquo de Controle Acadêmico: Localização em Ambiente Interno utilizando Ciclo de Trabalho Dinâmico

João P. M. Chamon^{1 2}, Thomaz D. V. Souza², Anderson S. Rosa², Raquel A. F. Mini¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Pontifícia Universidade Católica de Minas
Belo Horizonte – MG – 31980-110 – Brasil

²Faculdade do Centro Leste (UCL) – Serra – ES – 29173-087 – Brasil

jp@ucl.br, thomazdaniel@ucl.br, sachetto@ucl.br, raquelmini@pucminas.br

Abstract. *In this paper, we propose a ubiquitous system capable of performing automatic enrollment for academic student attendance. The proposed solution, named OnBee, integrates access and location. Access control is done by RFID 125 kHz and the location by IEEE 802.15.4. The main technological challenge of the proposed solution is the definition of the system duty cycle. Using the proposed dynamic duty cycle, we have reached a lifetime of more than 8 years and a cost about R\$25.00 per student card. Experimental results showed that in just 15 minutes in class room, 96% of the attendance record is achieved and also that, in the worst case, it is demanded 60 minutes for all records are successfully registered.*

Resumo. *Neste artigo, é proposto um sistema ubíquo capaz de realizar o registro automático de presença acadêmica dos alunos. A solução proposta, denominada OnBee, integra acesso e localização. O controle de acesso é feito pela tecnologia RFID 125 kHz e o de localização feito pela IEEE 802.15.4. O principal desafio tecnológico da solução proposta é a definição do ciclo de trabalho do sistema. Utilizando o ciclo de trabalho dinâmico proposto, chegou-se a um tempo de vida de mais de 8 anos e a um custo aproximado de R\$ 25,00 por cartão do aluno. Resultados experimentais mostraram que em apenas 15 minutos de permanência em sala de aula, 96% do registro de presença é alcançado, e também que, no pior caso, são demandados 60 minutos para que todos os registros sejam realizados com sucesso.*

1. Introdução

Os alunos matriculados em uma disciplina devem possuir uma frequência mínima para a aprovação, como previsto na legislação Brasileira [Diretrizes 1996]. Na maioria das escolas, o processo de apuração da frequência é manual, o que impacta diretamente no tempo de aula e em todo planejamento institucional. O impacto no tempo de aula significa que menos tempo é dedicado para o processo de ensino aprendizagem, ou até mesmo a não realização da apuração da frequência pelos professores. Esse processo poderia ser feito de forma automática e transparente para os alunos e professores através de um sistema ubíquo [Weiser 1991] no qual a frequência seria automaticamente apurada por meio da detecção da presença do aluno e do professor em uma determinada sala em um determinado horário.

O controle da presença também representa uma importante ferramenta de planejamento institucional. Esse controle mostra uma realimentação dos alunos para com o curso e a instituição como um todo, uma vez que a insatisfação leva, em muitos casos, à desistência da disciplina e até ao desligamento definitivo da própria instituição. O acompanhamento da presença em sala de aula possibilita uma tomada de decisão mais rápida e efetiva na condução da disciplina pelo professor e na avaliação do curso pela instituição. Esse acompanhamento é um dos principais instrumentos para avaliar a evasão escolar. O tratamento da evasão tem sido um importante objeto de estudo para a gestão dos sistemas de ensino. A falta não afeta apenas os alunos, mas também todo ambiente de aprendizagem. Investimentos em melhorias, mesmo em instituições públicas, dependem diretamente do número de alunos matriculados e podem ser mensurados como lucro monetário ou social.

Além do controle da frequência, o processo de segurança institucional apresenta-se como outro grande desafio. Para atender a esse requisito, em algumas instituições, são implantados controles de acesso físico por meio de catracas, cancelas e torniquetes. Em casos específicos, como instituições de educação básica e ensino médio, nas quais os alunos não possuem liberdade de trânsito fora das salas, o controle de acesso pode ser utilizado como controle de presença. Entretanto, o mesmo não ocorre em instituições de nível superior. Projetar uma solução que integra o controle de acesso e o controle de presença de forma ubíqua em uma instituição de ensino superior apresenta-se como um desafio tecnológico.

No controle de acesso, o foco é permitir ou não que o corpo docente e discente tenha acesso físico ao ambiente, independente de quanto tempo e onde ele está localizado dentro da instituição. Por outro lado, no sistema de presença, é relevante saber onde o indivíduo encontra-se em um determinado momento para que sua presença nas aulas seja registrada de forma transparente para alunos e professores. Além do controle de frequência às aulas, seria possível também conhecer o perfil dos deslocamentos das pessoas nas dependências da instituição e os pontos de maior intensidade de alunos. Esse conhecimento possibilita a definição de metas para melhoria de serviços.

O objetivo deste trabalho é a criação de um sistema ubíquo denominado OnBee, capaz de realizar o registro automático da presença acadêmica dos alunos, integrando o acesso e localização por meio de um cartão que seja viável técnica e economicamente. O principal desafio tecnológico da solução proposta é a definição do ciclo de trabalho do sistema, uma vez que, se o mesmo permanecer com o rádio ligado o tempo todo, seriam necessárias várias trocas de bateria durante a duração do curso do aluno, o que inviabilizaria completamente a solução proposta. Utilizando o ciclo de trabalho dinâmico proposto neste trabalho, chegou-se a um tempo de vida de mais de 8 anos e a um custo aproximado de R\$ 25,00 por cartão do aluno. Resultados experimentais mostraram que 96% do registro de presença é alcançado nos primeiros 15 minutos dentro da área de atuação da rede, e também que, no pior caso, são demandados 60 minutos para que todos os registros sejam realizados com sucesso.

Este artigo está organizado como segue: a seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, a seção 3 apresenta a solução OnBee, a seção 4 apresenta os experimentos realizados bem como os principais resultados obtidos, por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e as direções futuras deste trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

2.1. Tecnologias Utilizadas

O RFID (*Radio Frequency Identification*) [Fazrul et al. 2007] consiste em um pequeno *microchip* com um identificador exclusivo e uma antena que recebe e transmite os sinais de rádio. Esse sistema de identificação pode ser classificado quanto ao modo de alimentação, em ativo ou passivo. No sistema ativo uma bateria alimenta o circuito de transmissão, que auxilia no processo de comunicação com o leitor. Nesse sistema, a leitura pode ocorrer em grandes distâncias. No sistema passivo, a energia para a alimentação do *microchip* provém da leitora o que limita o alcance da leitura. Os componentes do RFID variam de acordo com a faixa de frequência. Os cartões que trabalham na faixa de 125 kHz são passivos e de baixa frequência, identificados com um único código de 32 bits. Seu custo de implantação e manutenção é muito inferior quando comparado às demais faixas do mesmo padrão de identificação.

Outra tecnologia utilizada é o padrão 802.15.4 [IEE 2007] desenvolvido pelo IEEE (*Institute for Electrical Eletronics Engineer*), esse padrão possibilitou a padronização e a interoperabilidade de comunicação em redes sem fio com baixa taxa de transmissão. O padrão IEEE 802.15.4 opera com duas camadas, a física e a de acesso ao meio. Na camada física, são definidas características do hardware e dos comandos elétricos. Sua principal função é transmitir e receber dados do meio externo, e padronizar esses para o encaminhamento à camada de acesso ao meio. A camada de controle de acesso ao meio ou camada MAC (*Medium Access Control*) é responsável por toda a operação que envolve o canal físico no processo de comunicação. A interação entre essas duas camadas pode acontecer por meio de uma aplicação embarcada no dispositivo ou por meio de comunicação com elementos externos, de forma transparente para a aplicação que acessa o canal de comunicação.

A solução CC2530 [Instruments 2009] SoC (*System-on-Chip*) da *Texas Instruments* possibilita implementar o padrão IEEE 802.15.4 com poucos elementos. Esse *chip* opera em 2.4 GHz e possui um processador baseado no núcleo 8051 com um cristal de 32 MHz. Esse processador é adequado para o baixo consumo de energia e implementa um ciclo do núcleo de instrução por ciclo de *clock*. Esse *chip* possui excelente desempenho de um transmissor de rádio, memória *flash* programável de 256 KB, 8 KB de memória RAM, além de possuir um contador *sleep time* que possibilita o desligamento e religamento do sistema. Em modo ativo de rede TX, para 1 dBm, o seu consumo é de 34 mA, no pior caso, que acontece quando o radio está em modo TX e o 8051 está processando. Em modo *sleep time*, considerado o melhor caso para o consumo de bateria, o circuito consome 1 μ A. Nessas situações, a tensão de trabalho pode variar de 2 a 3,6 volts.

2.2. Sistemas de Localização em Ambientes Internos

Em [Zhao et al. 2008], é proposto um sistema de baixo custo para localização em ambientes fechados, que utiliza como estratégia o complemento de duas técnicas de localização: localização por escala multidimensional e localização por máxima verosimillhança. O sistema faz uso da intensidade do sinal recebido para estimar a distância entre dois nós da rede. A informação captada pelo IEEE 802.15.4 é encaminhada por meio de conexão serial ao computador, que então processa os dados e mostra na tela a posição dos dispositivos.

Outro trabalho de localização em ambientes internos é proposto em [Novelli 2013]. Nesse trabalho, é implementado o registro de chamadas de forma automática por meio de uma rede *WiFi* no padrão IEEE 802.11.2. A solução proposta utiliza um algoritmo de localização que infere a posição dos alunos com base na localização de seus dispositivos móveis. Como principais pontos negativos desta solução é possível destacar a necessidade de uma calibração trabalhosa do ambiente, a obrigatoriedade de que todos os alunos tenham dispositivos móveis e a necessidade de estarem conectados a uma infraestrutura de rede *WiFi* de alto custo, preparada para inúmeros acessos simultâneos.

Outro padrão de localização em ambientes internos são etiquetas RFID que utilizam a tecnologia passiva. O raio de ação dessas etiquetas impossibilita a sua utilização longe do ponto de leitura. Quando o ponto de leitura está posicionado em ambientes distantes, se torna necessário levar a informação do terminal de leitura até o servidor. O uso da tecnologia IEEE 802.15.4 para substituir os cabos de conexão entre diversos leitores de RFID e um único servidor flexibiliza aplicações que fazem uso da tecnologia RFID e torna desnecessário que cada componente leitor esteja conectado ao servidor por meio de cabos [Ji et al. 2013].

3. OnBee

3.1. Hardware

Esta seção apresenta os componentes de hardware da solução denominada OnBee. O OnBee integra controle de acesso e presença acadêmica por meio de um único elemento. O acesso é controlado por um sistema RFID e a presença é realizada de forma ubíqua por uma rede sem fio, no padrão IEEE 802.15.4. O usuário não consegue acesso físico sem o cartão de acesso que é limitado por meio de catracas, cancelas e torniquetes. Essa limitação possibilita que todo usuário dentro da área de ação do sistema tenha um cartão de presença, uma vez que esse é integrado ao cartão de acesso nessa proposta.

O RFID utilizado para o acesso é do padrão passivo de 125 kHz, em função do baixo custo de implantação e manutenção. Essa tecnologia não é a mesma utilizada no registro de frequência às disciplinas, uma vez que não possibilita o registro ubíquo da presença. O registro de acesso unicamente não pode ser tratado como presença, os estudantes podem estar dentro da instituição não necessariamente dentro das salas de aula, pois podem estar localizados em áreas comuns, cantinas ou centro de vivência.

Para o registro de presença, o cartão utiliza um *SoC* CC2530 que possibilita implementar uma rede IEEE 802.15.4 que opera em 2,4 GHz, com um processador baseado no 8051, memória *flash* programável de 256 KB, 8 KB de memória RAM e que opera em um regime de consumo de 2 a 3,6 V. Esse cartão é alimentado por meio de uma bateria de 3 V e encapsulado com um projeto de chaveiro. Os componentes da solução proposta são ilustrados na figura 1.

Dentre as diversas características consideradas para a escolha de um processo de controle de acesso e presença, o custo referente à implantação e manutenção são as que mais se destacam. Outros requisitos estabelecidos para a escolha desse projeto foram a durabilidade da solução, robustez dos elementos e escalabilidade. Ao integrar essas tecnologias em um novo sistema, será possível atender a todas as demandas estabelecidas.

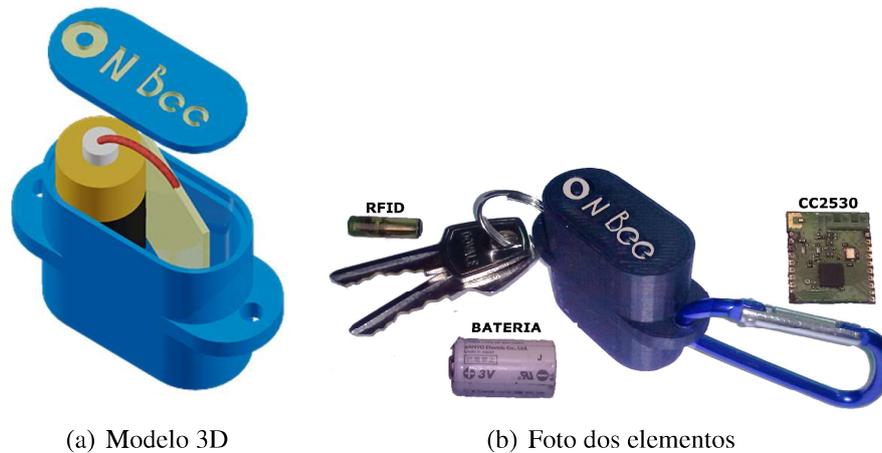


Figura 1. Cartão OnBee

3.2. Arquitetura de Software

Esta seção apresenta os módulos de software do OnBee: *BroadCastSid*, **Cartão Aluno**, **Sala** e **Banco**. A figura 2 ilustra esses módulos. O módulo *BroadCastSid* funciona em um hardware específico, alimentado por fonte elétrica e tem como finalidade ativar o **Cartão Aluno** para que este saiba que está ao alcance de uma rede conhecida. Tanto o identificador quanto o canal de comunicação utilizados pelo *BroadCastSid* não coincidem com os utilizados para o processo de troca de informações e registro de presença do aluno, evitando ruídos na comunicação.

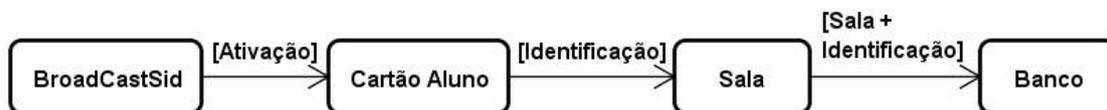


Figura 2. Arquitetura de Software

Enquanto o *BroadCastSid* não for identificado pelo **Cartão Aluno** nenhum sinal será transmitido na rede. Este modo de operação possibilita a segurança para que o **Cartão Aluno** não tenha seu sinal rastreado fora da área de cobertura da rede. Dentro da área, a quantidade de pacotes disseminada pelo *BroadCastSid* é muito grande quando comparado a informação enviada pelo **Cartão Aluno** o que dificulta o rastreamento da informação e melhora a segurança.

O **Cartão Aluno** é o módulo responsável por identificar o aluno. Esse cartão funciona em um hardware alimentado por bateria em um ciclo operacional que pode variar de 13 a 15 minutos. Em cada ciclo operacional, é definido um ciclo de trabalho que corresponde ao tempo em que o cartão é ativado para realizar a busca por alguma rede conhecida. Nesse processo de ativação, caso não encontre uma rede conhecida, o cartão volta instantaneamente ao modo PM2 (*sleep timer running*), desliga o rádio e diminui o processamento. No modo PM2, o consumo de bateria é próximo ao desligado, sendo esse estado mantido por mais 13 minutos. Durante o estado ativado, se o **Cartão Aluno** encontrar uma rede conhecida, o mesmo comunica com a **Sala** e volta ao estado de desativado.

O módulo **Sala** é implantado em outro hardware específico alimentado por fonte elétrica e com um curto alcance para diminuir a possibilidade de falso positivo no registro do **Cartão Aluno**. Cada módulo possui um identificador atrelado à localidade de instalação. Esse módulo capta os sinais do **Cartão Aluno** e transmite para o módulo **Banco**, por meio de uma rede cabeada, o código de identificação do aluno e a identificação da sala. Essa transmissão ocorre por conversores RS 485 utilizando o padrão TTL (*Transistor-Transistor Logic*).

O módulo do **Banco** se encontra instalado em um computador e recebe os dados enviados pela **Sala**. No processo de inserção dos dados necessários para o registro de presença, o sistema verifica a integridade das informações e a lista branca. A lista verifica se o identificador do **Cartão Aluno** está cadastrado para assistir aula naquela **Sala** no horário específico. Somente por meio desta confirmação que as informações são gravadas no **Banco**. O processo de lista branca impossibilita o registro falso de presença. O tratamento das informações inseridas se dá por meio de consultas ao banco de dados, seja por aplicação específica ou integrado ao sistema de controle de registro acadêmico.

3.3. Ciclo de Trabalho

Esta seção apresenta o ciclo de trabalho do **Cartão Aluno** que possibilita o baixo consumo de energia uma vez que, em um ciclo de trabalho de 100%, uma bateria de 1 Ah duraria aproximadamente 29 horas. Para solucionar esse ponto crucial, torna-se imprescindível a adoção de um ciclo operacional que alterna entre os estados ativo e desativo. No estado ativo, o dispositivo está com todas as suas funções operacionais e preparado para enviar ou receber informações a qualquer momento. Nesse estado, a velocidade de processamento está no máximo (32 MHz) o que eleva o consumo de corrente para 34 mA. No estado desativo, a velocidade de processamento do **Cartão Aluno** é diminuída para 32 kHz e suas funcionalidades são reduzidas, permanecendo apenas com um temporizador que opera continuamente.

Para estabelecer a comunicação com a **Sala**, o **Cartão Aluno** deve estar no modo ativo. Existem duas formas para ativar o cartão: interrupção externa ou temporizador. Por meio de interrupção externa, um botão deve ser adicionado para que esse ative o circuito. Por meio de temporizador, o circuito entra em modo ativo automaticamente após um período pré-estabelecido. Neste trabalho, será utilizado o temporizador para ativar o circuito. O uso de um temporizador possibilita que o sistema seja autônomo quanto ao processo de ativação.

A figura 3 apresenta o ciclo operacional do **Cartão Aluno**. Durante esse ciclo, a cada intervalo de 13 minutos, o **Cartão Aluno** vai para o modo ativo e realiza buscas para a identificação da rede do **BroadCastSid**. Se não encontrar a rede do **BroadCastSid**, o **Cartão Aluno** irá dormir por mais 13 minutos. Caso encontre a rede do **BroadCastSid**, o **Cartão Aluno** sinaliza que está presente e transmite por difusão para a **Sala** um pacote com suas informações únicas de identificação. Para melhorar a precisão, uma segunda mensagem é enviada em um período aleatório que varia de 0 até 2 minutos após o primeiro envio. Após esse processo, o **Cartão Aluno** volta a ficar inativo por 13 minutos.

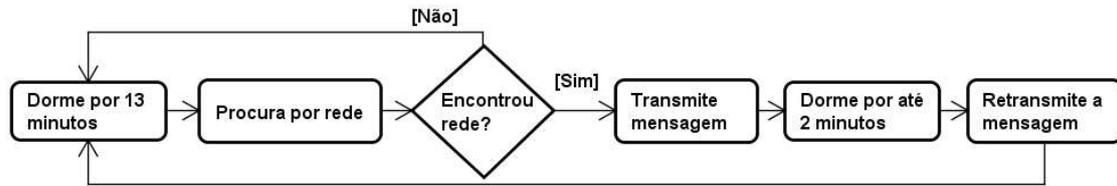


Figura 3. Ciclo de Operacional do Cartão do Aluno

O envio de uma segunda mensagem no ciclo de registro de presença possui dupla função: aumentar a possibilidade de registro no mesmo intervalo e deslocar os tempos de comunicação entre o **Cartão Aluno** e a **Sala**. O deslocamento desse tempo proporciona uma comunicação com baixa perda de pacotes por colisão, mesmo sendo utilizado o método de disseminação de pacotes por difusão. Quando o **Cartão Aluno** está dentro da instituição, o tempo em modo ativo pode variar devido às diversas tentativas de busca *BroadCastSid*. Esse processo de busca pode demorar até 0,2 segundos de um tempo total de comunicação que pode chegar até 0,3 segundos. Os tempos estão sendo apresentados sempre no pior caso, que acontece quando se encontra a rede na última tentativa de busca ao *BroadCastSid* antes de retornar ao modo desativo.

Em um ciclo de trabalho de 100%, com um consumo de 34 mA, uma bateria de 1 Ah possibilita que o sistema funcione durante 29 horas. Utilizando a solução proposta, o registro da presença do aluno no controle acadêmico é feito em intervalos de até 15 minutos, sendo 13 minutos em um ciclo fixo e até 2 minutos em um ciclo variável. Esse ciclo se repete durante 24 horas por dia. No pior caso, supondo que todas as vezes que o **Cartão Aluno** torna-se ativo o mesmo se encontra dentro da instituição, que o tempo utilizado no modo ativo para registrar sua presença seja de 0,3 segundos para as duas transmissões e que a transmissão seja realizada somente na última tentativa de envio, em 24 horas, o sistema fica ativo por 33 segundos. Desta forma, na solução proposta, no pior caso, o ciclo de trabalho será de 0,038%.

Com um ciclo de trabalho de 0,038%, o sistema proposto terá uma vida útil de cerca de 8 anos e 8 meses o que é bastante adequado considerado um tempo médio de curso de aluno de 5 anos. O tempo de vida da rede pode ser ainda superior, uma vez que fora da instituição, o cartão fica ativo no mesmo intervalo de tempo, entretanto se mantém em um intervalo de tempo um terço menor. O período no qual o **Cartão Aluno** está em modo desativado, seu consumo pode ser desprezado. Tendo em vista seu consumo de 1 μ A, durante os cinco anos sua demanda terá sido de apenas 0,07 mAh.

4. Experimentos

4.1. Cenários

Esta seção apresenta o cenário onde foi testado o sistema OnBee. Os testes e dados coletados se deram por meio de experimentações controladas seguindo as características de utilização real do sistema de controle acadêmico. Uma estrutura composta de 44 cartões de aluno e três salas de aula foi utilizada para a realização dos experimentos. A presença no ambiente foi relacionada à leitura do **Cartão Aluno** pela **Sala**.

Durante períodos de duas horas foram analisados os registros de presença em sala, tendo como vizinhas salas com os mesmos equipamentos. Todos os cartões de alunos na sala de aula conseguiram pelo menos um registro no período, o que garante que o sistema é confiável. Com o objetivo de evitar que a presença seja registrada pela **Sala** errada, foram implementadas duas estratégias. Uma lista branca no **Banco**, que garante que o **Cartão Aluno** só registre presença na **Sala** e no horário ao qual ele possui aula, assim o sistema consegue evitar o registro equivocado. Outra medida adotada foi a redução da potência do rádio da **Sala** e do **Cartão Aluno**, com isso a redução a área de ação. Os testes foram realizados por mais de 200 horas e apresentaram consistência, independente de distância, tamanho da sala e quantidade de transmissões simultâneas. A figura 4 ilustra os elementos e o local de testes.

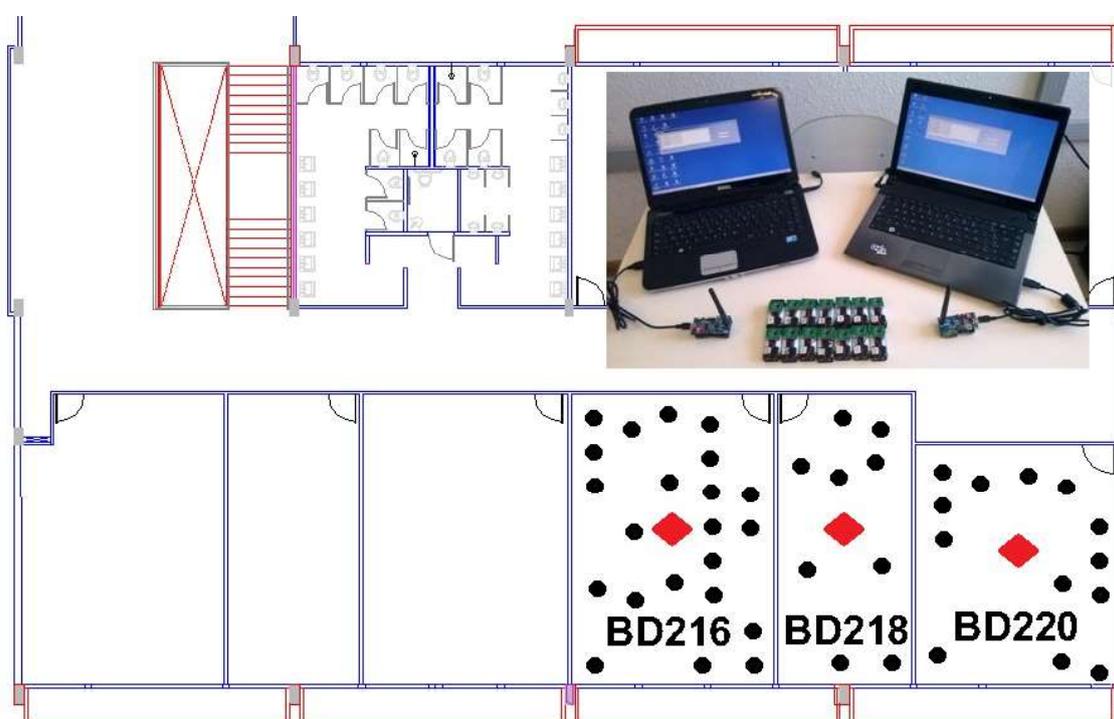


Figura 4. Sensores e o Ambiente de Teste

4.2. Resultados

Durante os experimentos, foi identificado que a quantidade de vezes em que o **Cartão Aluno** interage com o **BroadCastSid** para identificar se encontra ou não dentro do alcance da rede possui impacto direto nos resultados. A figura 5(a) apresenta que para o melhor resultado o **Cartão Aluno** deve buscar a identificação da rede por no mínimo 75 vezes, para possibilitar uma menor taxa de falha no processo de registro. O número de buscas influencia diretamente o tempo em que o circuito encontra-se ativo e no consumo de bateria.

O consumo de bateria, ponto crítico no registro ubíquo de controle acadêmico, influencia diretamente o tipo de comunicação, arquitetura da rede, sistema de potência e o protocolo de comunicação. Técnicas de comunicação foram adotadas para que um menor tempo de atividade do **Cartão Aluno** fosse alcançada, o que possibilita uma solução

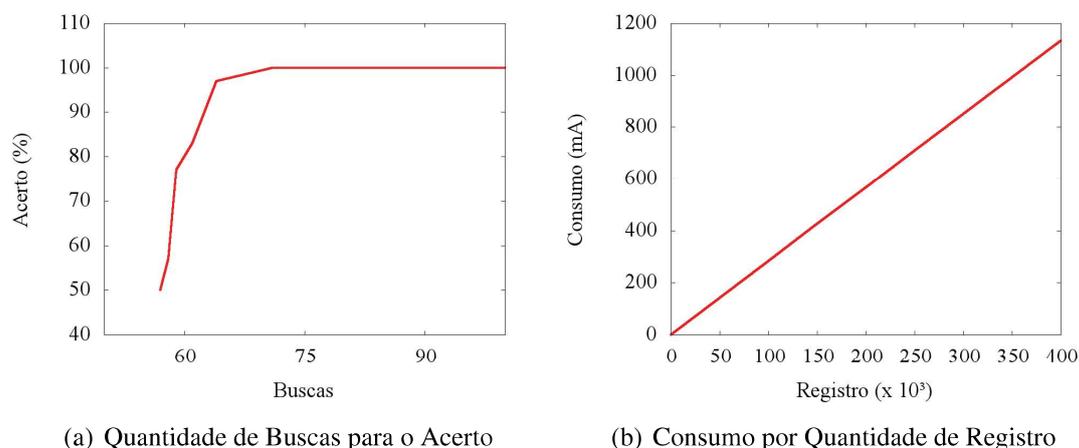


Figura 5. Tempo de Operação da Rede

viável. A figura 5(b) apresenta o consumo de bateria por quantidade de tentativa de registro, no pior caso uma bateria de 1000 mAh ou 1 Ah proporciona cerca de 350.000 registros, o bastante para 8 anos e 8 meses de funcionamento.

Em cada ciclo operacional, é definido um ciclo de trabalho que corresponde ao tempo em que o cartão é ativado para realizar a busca por alguma rede conhecida. O ciclo operacional do **Cartão Aluno** (fixo de 13 minutos e variável de 2 minutos) proporciona uma redução na colisão de pacotes, além da diminuição no tempo de envio da mensagem, uma vez que o circuito utiliza disseminação de pacotes. A figura 6 apresenta, em uma análise de apenas 15 minutos dentro da área da sala de aula, obtém-se um registro de presença superior a 96%. Para garantir a presença, o **Cartão Aluno** deve permanecer por no mínimo 60 minutos dentro da **Sala**.

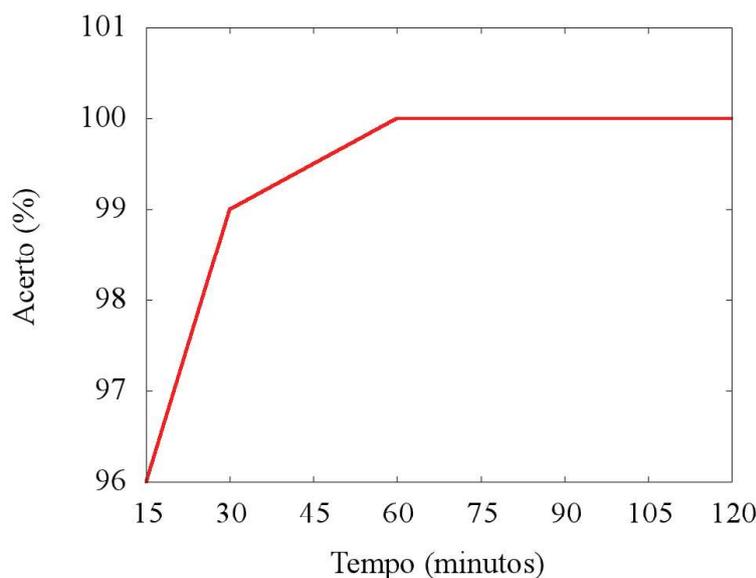


Figura 6. Tempo em Sala para Registro

O custo para a confecção do **Cartão Aluno** para solução OnBee se apresenta

viável mesmo em baixa escala, que pode variar em função da quantidade e cotação do dólar. Os valores expressos em reais incluem quando necessário as taxas de importação. O custo é cerca de R\$ 25,00 por cartão, sendo R\$ 17,00 do módulo CC2530 montado com antena e elementos reguladores de tensão, R\$ 2,00 da etiqueta RFID 125 kHz, R\$ 4,00 da bateria de 3 V e 1000 mAh e R\$ 2,00 para o encapsulamento plástico com *design* em forma de chaveiro.

5. Conclusões e Direções Futuras

Uma vez levada em consideração a importância do registro de presença dos alunos nas aulas e o avanço tecnológico, pesquisas voltadas à otimização desta tarefa, que por vezes demandam tempo de aula e desgaste do professor, tem grande valia para o corpo docente das instituições de ensino. A fim de proporcionar estratégias que privilegiam determinadas áreas e espaços físicos dentro da instituição de ensino, é importante saber como o contingente de alunos se distribui pela mesma durante as aulas e em horários de intervalo.

Com base na solução proposta, o registro de presença de forma ubíqua passa a ser algo factível e de fácil implantação. Fica evidenciada a viabilidade da criação de uma rede ubíqua para controle acadêmico por meio de um cartão específico. Os experimentos mostraram que o sistema é funcional e de aplicação viável técnica e financeiramente, em média e larga escala, e que proporciona um ganho de tempo na aula, precisão nos registros de controle de frequência e garantia de maior segurança no acesso. Para trabalhos futuros espera-se desenvolver um circuito que propicie uma diminuição nas dimensões do **Cartão Aluno**, a implementação de outros métodos de localização, além de uma aplicação de segurança mais robusta com utilização de criptografia.

Referências

- (2007). Wireless medium access control MAC and physical layer PHY specifications for low-rate wireless personal area networks (lr-wpans): Amendment to add alternate phy (amendment of ieee std 802.15.4). *IEEE Approved Std P802.15.4a/D7, Jan 2007*, pages –.
- Diretrizes, L. (1996). bases da educação nacional. *Lei*, 9394(96):39–57.
- Fazrul, F. Z., Anuar, M. S., Soh, P. J., and Aljunid, S. A. (2007). 125 khz ubiquitous rfid tag signal detector system. In *Intelligent and Advanced Systems, 2007. ICIAS 2007. International Conference on*, pages 418–421.
- Instruments, T. (2009). Cc2530 data sheet.
- Ji, W., Yang, D., Hong, G., and Ge, L. (2013). The research of rfid wireless network based on zigbee technology. In *Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013 Fifth International Conference on*, pages 1392–1395.
- Novelli, R. (2013). Detecção de presença em ambientes fechados usando redes sem fio. Master’s thesis, PUC Minas.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3):94–104.
- Zhao, Y., Dong, L., Wang, J., Hu, B., and Fu, Y. (2008). Implementing indoor positioning system via zigbee devices. In *Signals, Systems and Computers, 2008 42nd Asilomar Conference on*, pages 1867–1871. IEEE.