

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RENATA CRISTINA TAVARES

**SMART INVENTÁRIO: IMPLICAÇÕES DO USO DE SENSORES *BLUETOOTH*
LOW ENERGY NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO INVENTÁRIO PATRIMONIAL
NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA FEDERAL**

CAMPO MOURÃO

2025

RENATA CRISTINA TAVARES

**SMART INVENTÁRIO: IMPLICAÇÕES DO USO DE SENSORES *BLUETOOTH*
LOW ENERGY NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO INVENTÁRIO PATRIMONIAL
NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA FEDERAL**

Smart Inventory: implications of using Bluetooth Low Energy sensors to improve the efficiency of asset inventory in the federal public administration

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas do Programa de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Roberto Ribeiro Neli

CAMPO MOURÃO

2025



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



RENATA CRISTINA TAVARES

**SMART INVENTÁRIO: IMPLICAÇÕES DO USO DE SENSORES BLUETOOTH LOW ENERGY NA
MELHORIA DA EFICIÊNCIA DO INVENTÁRIO PATRIMONIAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA FEDERAL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Inovações Tecnológicas.

Data de aprovação: 12 de Setembro de 2025

Dr. Roberto Ribeiro Neli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Elenice Koziel, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Gilson Junior Schiavon, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcos Junio Ferreira De Jesus, Doutorado - Universidade Estadual do Paraná (Unespar)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 12/09/2025.

CAMPO MOURÃO

2025

AGRADECIMENTOS

Este trabalho reflete o apoio, o incentivo e a inspiração de muitos; a todos, agradeço.

A Deus, pai e mãe, por tudo.

À minha família, pelo apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Ribeiro Neli, pelas contribuições e acompanhamento.

À Prof. Dra. Elenice Koziel e ao Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon, por mostrarem que menos é mais.

Ao Prof. Dr. Wyrllen Everson de Souza, coordenador do PPGIT, pelo incentivo recebido.

Aos professores do PPGIT, pelo conhecimento compartilhado.

À UTFPR Campus Campo Mourão, pela infraestrutura, pelo apoio institucional e pela oportunidade para a realização do curso de mestrado.

À Brendinha e Tatu, meus pequenos grandes companheiros.

E, finalmente, aos autores e estudiosos, cujas obras sustentam este estudo.

“Qualquer tecnologia suficientemente
avançada é indistinguível da magia.”
(Arthur C. Clarke, 1973)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de melhoria no inventário patrimonial em uma instituição federal de ensino, por meio do uso de sensores *Bluetooth Low Energy* (BLE) para localização e identificação de bens públicos. A metodologia adotada foi a pesquisa-ação, conduzida na forma de prova de conceito, com a autora como única participante, responsável por todas as etapas de produção e análise de dados. Os dados foram obtidos por meio da interação entre os sensores, o aplicativo de escaneamento e o dispositivo móvel utilizado. O estudo avaliou o impacto da tecnologia em termos de eficiência do processo, redução do esforço físico e diminuição do tempo necessário para a realização do inventário. Os resultados indicam que o uso dos sensores tornou o procedimento mais rápido, menos trabalhoso, mais organizado e mais fluido. Entretanto, a análise econômica, baseada no retorno sobre investimento (ROI), indica que, mesmo com a economia de tempo proporcionada pelos sensores, o investimento inicial não se paga em um único inventário, sendo necessária a reutilização dos dispositivos ao longo de múltiplos ciclos para aproximar a viabilidade econômica.

Palavras-chave: gestão pública; sensores; pesquisa-ação; *Bluetooth Low Energy*.

ABSTRACT

This study proposes an improvement in asset inventory management at a federal public educational institution through the use of Bluetooth Low Energy (BLE) sensors for asset tracking and identification. The methodology adopted was action research, carried out as a proof of concept with the researcher as the sole participant, responsible for all stages of data collection and analysis. Data were generated from the interaction between the sensors, the scanning application, and a mobile device. The study assessed the technology's impact on process efficiency, reduction of physical effort, and the time required to complete the inventory. The results indicate that the use of sensors made the procedure faster, less physically demanding, more organized, and smoother. However, the economic analysis based on return on investment (ROI) shows that, despite the time savings, the initial investment cannot be recovered within a single cycle, requiring reuse of the devices across multiple inventories to approach economic feasibility.

Keywords: public management; sensors; action research; Bluetooth Low Energy.

RÉSUMÉ

Cette étude propose une amélioration de la gestion de l'inventaire patrimonial dans une institution fédérale d'enseignement public à travers l'utilisation de capteurs *Bluetooth Low Energy* (BLE) pour l'identification et le suivi des biens publics. La méthodologie adoptée a été la recherche-action, menée sous la forme d'une preuve de concept, avec la chercheuse comme unique participante, responsable de toutes les étapes de collecte et d'analyse des données. Les données ont été générées à partir de l'interaction entre les capteurs, l'application de lecture et un appareil mobile. L'étude a évalué l'impact de la technologie sur l'efficacité du processus, la réduction de l'effort physique et le temps nécessaire à la réalisation de l'inventaire. Les résultats montrent que l'utilisation des capteurs a rendu la procédure plus rapide, moins exigeante physiquement, plus organisée et plus fluide. Toutefois, l'analyse économique basée sur le retour sur investissement (ROI) indique que, malgré le gain de temps, l'investissement initial ne peut être amorti en un seul cycle, ce qui exige la réutilisation des dispositifs sur plusieurs inventaires afin de se rapprocher d'une faisabilité économique.

Mots-clés : gestion publique ; capteurs ; recherche-action ; *Bluetooth Low Energy*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3	METODOLOGIA	22
3.1	Caracterização da amostra	22
3.2	Instrumentos e ferramentas de produção de dados	23
3.2.1	Bluetooth Low Energy	24
<u>3.2.1.1</u>	<u>RTLS simplificado: localização de bens em tempo real</u>	<u>25</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>Introdução a tecnologia iBeacon</u>	<u>27</u>
3.2.2	Características e funcionamento dos sensores iBeacon	28
3.3	Procedimentos de produção de dados	34
3.3.1	Prova de Conceito: Smart Inventário	34
3.3.2	Ambiente de teste	35
3.4	Configuração e instalação dos sensores	36
3.4.1	Custos operacionais da prova de conceito	39
3.5	Produção e análise de dados	40
3.5.1	Cronometragem	40
3.5.2	Escala Task Load Index (NASA-TLX)	40
<u>3.5.2.1</u>	<u>Escala de Estimativa de Carga de Trabalho AFFTC (ARWES)</u>	<u>45</u>
3.5.3	Teste de Usabilidade	46
3.5.4	Aplicação da Escala de Usabilidade do Sistema (SUS)	48
3.5.5	Aplicação do Percurso Cognitivo	52
3.5.6	Análise Econômica: Retorno sobre Investimento (ROI)	58
4	SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1	Síntese dos resultados	64
4.2	Validação da PoC	66
4.3	Discussão	66
4.3.1	Potencial e limites da tecnologia Bluetooth Low Energy no inventário	67
4.3.2	Contribuições teóricas e metodológicas	68
4.3.3	Aspectos institucionais e humanos	69
5	CONCLUSÃO	71
5.1	Sugestões e recomendações de trabalhos futuros	72
5.2	Créditos e informações legais	73
	REFERÊNCIAS	74

APÊNDICE A - 10 perguntas da escala SUS	85
APÊNDICE B - Roteiro para avaliação de usabilidade	87
APÊNDICE C - Especificação e custos dos materiais utilizados na prova de conceito.....	91

1 INTRODUÇÃO

A administração pública enfrenta desafios significativos, tais como a necessidade de modernizar seus processos, atender à crescente expectativa da sociedade por serviços de qualidade e lidar com restrições orçamentárias (Marcolino, 2024). Diante desse cenário, torna-se necessário repensar práticas administrativas e buscar ideias inovadoras que conciliem eficiência, economicidade e a capacidade de atender melhor às necessidades da sociedade.

Neste contexto de demandas e limitações estruturais, a modernização do Estado não se restringe à superação de desafios financeiros, mas também ao fortalecimento da cidadania e à valorização do bem público. Oferecer serviços públicos de qualidade requer, portanto, não apenas transparência nas ações públicas e escuta ativa da população, mas também a adoção de práticas de gestão mais modernas, capazes de aprimorar o desempenho institucional, responder de forma mais eficaz às demandas sociais e utilizar os recursos públicos com maior eficiência (Tohá; Solari, 1997).

Sob essa perspectiva, os princípios da eficiência e da economicidade assumem papel central, ao direcionarem a gestão pública para práticas mais responsáveis, sustentáveis e orientadas por resultados (David, 2010). Ambos estão estreitamente ligados aos mecanismos operacionais e normativos que sustentam o funcionamento do serviço público, como o controle institucional, a transparência dos processos e a legitimidade dos atos administrativos (Rocha, 2018). No âmbito de um mestrado profissional, esse enfoque ganha relevância por orientar soluções práticas que podem ser imediatamente aplicadas ao cotidiano da gestão pública.

O inventário anual de bens patrimoniais, previsto como obrigação na gestão pública, tem por objetivo registrar, ao término de cada exercício, a quantidade e o valor dos bens em uso e sob responsabilidade das unidades gestoras. Apesar de sua importância normativa, permanece frequentemente reduzido a um procedimento burocrático, contribuindo para um cenário recorrente de fragilidade nos controles patrimoniais, que Souza (2024, p. 6) caracteriza como um “descontrole da situação e do registro dos bens públicos”. Diante desse contexto, torna-se necessário repensar esse processo, orientando sua execução pelos princípios da eficiência e da economicidade. Dessa forma, esta pesquisa pretende contribuir para a produção de conhecimento aplicado e para o desenvolvimento de soluções práticas que apoiem

gestores na transformação do inventário patrimonial em um instrumento estratégico de controle, planejamento e tomada de decisão.

De acordo com Galdino (2005), o estímulo de processos mais eficientes permite que a administração pública se reorganize, fortalecendo a legitimidade do Estado. Essa legitimidade depende, em grande medida, de uma gestão que observe padrões consistentes de eficiência. Nesse contexto, a economicidade complementa essa perspectiva ao buscar a racionalização dos recursos financeiros disponíveis, de modo que os custos dos processos sejam proporcionais ao valor efetivamente gerado (Bugarin, 2001, 2004). Desta forma, ao vincular eficiência e economicidade a rotinas operacionais concretas, reforça-se a possibilidade de melhorar processos internos sem ampliar custos, decisão relevante para instituições públicas de ensino que operam sob restrições orçamentárias.

Na administração pública, é importante a distinção entre os conceitos de eficiência, economicidade, eficácia e efetividade pois, embora possuam significados distintos, são interdependentes e se complementam na busca por uma gestão responsável e orientada para resultados (Freitas, 2004). A eficiência refere-se à capacidade de utilizar os recursos disponíveis de forma racional, otimizando processos e evitando desperdícios. Já a economicidade está relacionada à redução de custos, desde que não haja comprometimento da qualidade dos serviços prestados, caracterizando uma gestão orientada ao equilíbrio entre gastos e resultados. Por sua vez, a eficácia diz respeito ao grau de cumprimento dos objetivos previamente estabelecidos, ou seja, à concretização das metas propostas pelas políticas públicas. A efetividade, por fim, avalia os impactos reais dessas ações na sociedade, considerando os benefícios concretos gerados para a população e a transformação social promovida (Freitas, 2004). Assim, a articulação entre esses quatro conceitos é indispensável para assegurar que os recursos públicos sejam aplicados com responsabilidade, transparência e foco no interesse coletivo (Freitas, 2004).

O princípio da economicidade, embora previsto como direito próprio no art. 70 da Constituição Federal¹, está inserido na concepção mais ampla de eficiência. Trata-se da busca pelo melhor aproveitamento dos recursos, com a obtenção de maiores benefícios ao menor custo possível. Nesse sentido, a economicidade pode ser

¹ Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10631436/artigo-70-da-constituicao-federal-de-1988>.

compreendida como uma dimensão da eficiência administrativa, guiando a gestão para a racionalização e para a geração de resultados com o mínimo de desperdício (Binenbojm, 2008). Assim, ao incorporar princípios de governança pública, o inventário patrimonial deixa de se restringir a uma obrigação formal e passa a assumir função estratégica no fortalecimento de uma gestão transparente, responsável e eficiente.

O parágrafo único do art. 70 da Constituição Federal estabelece que a administração pública deve manter sistemas de controle interno que assegurem a legalidade e a eficiência na utilização dos recursos. Nesse contexto, o inventário permite verificar a existência, o estado de conservação e a destinação dos bens permanentes, contribuindo para a integridade das informações contábeis e para a responsabilização pela guarda e uso adequado dos recursos públicos (Conselho Nacional do Ministério Público, 2014). Mais do que uma simples conferência de saldos, trata-se de um processo que evidencia a realidade física do patrimônio, identificando também itens obsoletos, inservíveis ou que demandam manutenção, elementos que vão subsidiar as decisões de desfazimento e baixa patrimonial (Conselho Nacional do Ministério Público, 2017). Além disso, o inventário fortalece os mecanismos de controle interno e externo, promovendo maior transparência na gestão, conforme previsto no art. 96 da Lei nº 4.320/64².

Para garantir sua credibilidade, recomenda-se que o inventário seja conduzido por comissão independente do setor de patrimônio, respeitando o princípio da segregação de funções, o que evita conflitos de interesse e assegura a imparcialidade da apuração. Quando são detectadas divergências entre os registros contábeis, patrimoniais e o estoque físico, a legislação impõe a instauração de processo administrativo para investigar e corrigir as inconsistências (Conselho Nacional do Ministério Público, 2014). Dessa forma, o inventário anual não se limita a uma obrigação normativa: ele se consolida como um instrumento estratégico de controle, prevenção e responsabilização, contribuindo para o fortalecimento da gestão pública e para a promoção da eficiência no uso dos bens do Estado (Conselho Nacional do Ministério Público, 2014).

² Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/11661687/artigo-96-da-lei-n-4320-de-17-de-marco-de-1964>.

Na UTFPR Campus Campo Mourão, a diversidade de tipos de bens, a extensão das instalações físicas e a distribuição dos itens entre os diversos setores institucionais tornam o processo de verificação e atualização patrimonial significativamente desafiador. O levantamento é realizado por meio da leitura do número de tomo impresso nas etiquetas afixadas aos bens, método que apresenta limitações quando essas etiquetas estão ausentes, danificadas, ilegíveis ou afixadas a bens instalados em local de difícil acesso à etiqueta. Essas condições ocasionam retrabalho e prolongamento dos prazos de execução, o que compromete a eficiência operacional e a qualidade do controle patrimonial, demonstrando a necessidade de soluções tecnológicas que simplifiquem o processo, reduzam o retrabalho e apoiem a tomada de decisão administrativa.

A observação dessas limitações e fragilidades motivou o presente estudo, alinhando-se à perspectiva de Salomon (2014), que reconhece a observação dos fatos como método válido e fundamental para identificar problemas e levantar questões que orientam a investigação científica, constituindo uma fonte legítima de produção de conhecimento. Ademais, tais condições contribuem de forma expressiva para a ineficiência do inventário, ampliando o tempo e o esforço físico demandados dos servidores. Como resultado, a atividade é frequentemente percebida como trabalhosa, pouco valorizada, monótona e desestimulante, o que pode comprometer a disposição dos envolvidos e tornar o processo mais suscetível a retrabalho e erros. Assim, considerando as limitações identificadas, o ambiente de uso, as tarefas de identificação e localização dos bens e os recursos tecnológicos disponíveis, a proposta deste estudo busca aprimorar a realização do inventário por meio de sensores *Bluetooth Low Energy* (BLE), em conformidade com o modelo da International Organization for Standardization (2023). A proposta conecta, portanto, a análise acadêmica a um problema concreto da gestão patrimonial pública, reforçando o caráter aplicado desta investigação.

Com base nessa proposta, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: como o uso de sensores BLE pode contribuir para a eficiência e a economicidade na realização do inventário patrimonial de bens públicos?

Tendo essa questão como referência, o estudo tem como objetivo geral avaliar o potencial da tecnologia BLE para aprimorar práticas tradicionais de inventário, promovendo maior eficiência, economicidade e qualidade no controle patrimonial.

Especificamente, busca-se:

1. Avaliar a usabilidade do sistema em um cenário de prova de conceito (PoC);
2. Analisar o tempo necessário para a realização do inventário antes e depois da implementação dos sensores BLE;
3. Identificar as contribuições do uso da tecnologia para a minimização de erros e a redução do esforço físico;
4. Avaliar a viabilidade econômica da implementação dos sensores BLE no processo de inventário patrimonial;

Toda pesquisa requer a definição de seu escopo, ou seja, a seleção e apresentação dos aspectos que serão abordados. Segundo Vergara (2016, p. 48), "é o momento em que se explicita para o leitor o que fica dentro do estudo e o que fica fora". Nesse sentido, esta pesquisa limita-se à análise do uso de sensores de proximidade BLE no inventário anual de bens patrimoniais da Administração Pública Federal, combinando abordagens qualitativas e quantitativas. A análise quantitativa considera dados de cronometragem e estimativas de retorno sobre investimento (ROI), enquanto a análise qualitativa avalia testes de usabilidade e carga de trabalho físico e mental. Questões relacionadas à segurança da informação não são abordadas, uma vez que os dados analisados se restringem ao número de tombo e à descrição dos bens.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, além desta Introdução: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, o Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos, o Capítulo 4 reúne os resultados e a discussão e o Capítulo 5 traz as conclusões, as limitações do estudo e as propostas para pesquisas futuras. Por fim, constam as referências e os apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No campo da administração pública, a inovação bem-sucedida é definida por Mulgan e Albury (2003, p. 3) como “a criação e a implementação de novos processos, produtos, serviços e métodos de prestação que resultam em melhorias significativas na eficiência, efetividade ou qualidade dos resultados”. Embora essa definição inclua transformações amplas e estruturais, os próprios autores destacam que:

A maioria das inovações não atrai manchetes. Elas são mudanças relativamente pequenas em serviços ou processos já existentes: por exemplo, o uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC) para gerenciar as finanças escolares ou a introdução de uma nova técnica na gestão de espaços hospitalares. Isoladamente, essas mudanças raramente alteram a estrutura das organizações ou as relações e dinâmicas internas ou entre organizações. No entanto, elas são fundamentais para a busca contínua por melhorias nos serviços públicos, para a adaptação dos serviços às necessidades individuais e locais, e para a relação custo-benefício. Organizações bem-sucedidas geralmente são férteis em inovações desse tipo, o que lhes permite manter-se à frente dos “concorrentes”. Esse tipo de inovação é chamado de *incremental* (Mulgan; Albury, 2003, p. 3, grifo nosso).

Assim, a inovação deve ser compreendida como uma atividade central da administração pública, pois contribui para a melhoria do desempenho dos serviços, respondendo às necessidades e expectativas da população, além de promover maior eficiência nos serviços e a redução de custos (Mulgan; Albury, 2003).

Como destaca a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2017), a inovação no setor público não ocorre automaticamente. É necessário, primeiramente, identificar as situações-problema e transformar as ideias para solucioná-las em projetos passíveis de serem testados em pequena escala. Somente depois, esses projetos podem ser implementados e expandidos.

Nesse sentido, a busca pela inovação está diretamente relacionada aos desafios observados em situações-problema vivenciadas no cotidiano institucional, por meio de reformas inspiradas em modelos como a administração pública gerencial e o governo empreendedor, conforme descrito por Secchi (2009). Tais modelos compartilham valores como produtividade, orientação ao serviço, descentralização, eficiência na prestação de serviços, visão de mercado e responsabilização (*accountability*), os quais sustentam a adoção de práticas inovadoras (Kettl, 2005). Assim, a inovação deve ser posicionada no núcleo das práticas administrativas, reconhecendo-se seu papel estratégico e sistemático.

A compreensão dos princípios que orientam a Administração Pública brasileira se mostra relevante e, dentre esses princípios, destaca-se o da eficiência, elemento central para a condução de políticas e práticas voltadas ao uso racional dos recursos públicos. Assim, esta pesquisa adota este princípio como eixo central, abordando-o como um dos princípios constitucionais norteadores da Administração Pública, instrumentalizado no art. 37³ da Constituição Federal Brasileira, nos termos da Emenda Constitucional nº 19, de quatro de julho de 1998, que o incorporou ao lado da legalidade, impessoalidade, moralidade e publicidade.

Em uma perspectiva mais ampla, esta pesquisa também faz referência ao princípio da economicidade, considerando que, segundo diversos doutrinadores, há uma estreita relação entre eficiência e economicidade (Bugarin, 2004).

Para Bugarin (2001), a eficiência é tradicionalmente associada ao processo de execução das tarefas, sendo considerada eficiente a atividade realizada em conformidade com normas e padrões previamente estabelecidos. A eficiência operacional, embora amplamente discutida no âmbito empresarial privado, também é um conceito relevante para a gestão pública e o controle patrimonial. Segundo Fiddle (2023, não paginado),

a eficiência operacional envolve a capacidade de medir, analisar e melhorar os processos dentro de uma organização ou empresa. Isso requer identificar e eliminar o desperdício de tempo, recursos, materiais e dinheiro, ao mesmo tempo em que se melhora a qualidade geral dos serviços ou produtos. As empresas podem alcançar isso ao simplificar processos, automatizar tarefas e utilizar a tecnologia para aperfeiçoar fluxos de trabalho.

Di Pietro (2004) faz uma distinção importante ao explicar que a eficiência, já incorporada à Constituição como princípio, possui duas dimensões complementares: a primeira está relacionada ao desempenho do agente público, que deve exercer suas funções da melhor maneira possível e a segunda diz respeito à forma como a Administração Pública está organizada e estruturada, devendo ser orientada para uma gestão eficiente dos serviços sob sua responsabilidade. Em ambas as dimensões, o princípio da eficiência está ligado ao compromisso com o bem comum, sendo guiado por valores éticos, morais e legais (Andrade, 2022).

³ Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:constituicao:1988-10-05;1988!art37>.

A incorporação do princípio da eficiência à Constituição representa uma mudança significativa, visando alinhar a atuação da administração pública aos critérios de fiscalização previstos no art. 70, com destaque para a economicidade. Tal medida promove maior coerência entre gestão e controle dos recursos públicos e reforça o papel da Administração na consecução do interesse público (Monaco, 2022). Essa compreensão abre espaço para a análise da economicidade, conceito intimamente relacionado à eficiência, mas com foco específico na racionalização do uso dos recursos disponíveis (Bugarin, 1995; 2004).

Gabardo (2022) observa que a economicidade não deve ser vista como sinônimo de eficiência, mas sim como um dos atributos que a compõem, e nem sempre de forma determinante. Em outras palavras, gastar menos não garante, por si só, que uma ação pública seja eficiente. É possível, por exemplo, que uma medida muito econômica acabe comprometendo a qualidade ou os resultados esperados. Por isso, a eficiência exige uma visão mais ampla, que leve em conta não apenas os custos envolvidos, mas também a qualidade, a utilidade e os impactos das ações no atendimento ao interesse público (Gabardo, 2022). Dessa forma, cabe ao gestor público adotar uma postura ativa, criativa e orientada à eficiência da burocracia, de modo a viabilizar, por um lado, o desempenho eficaz dos servidores e, por outro, a economicidade nas atividades realizadas. Para tanto, impõe-se a necessidade de examinar as relações entre custo e benefício nos processos administrativos que conduzem à tomada de decisão, especialmente naquelas de maior impacto, com o objetivo de avaliar qual das alternativas disponíveis apresenta melhor relação entre os recursos empregados e os resultados esperados (Reis, 2000).

Embora juristas e estudiosos reconheçam amplamente a importância da inclusão do princípio da eficiência entre os fundamentos que orientam a administração pública (Bugarin, 2001), Mello (2013, p. 75, grifo nosso) argumenta que:

Quanto ao princípio da eficiência, não há nada a dizer sobre ele. Trata-se, evidentemente, de algo mais do que desejável. Contudo, é juridicamente tão fluido e de *tão difícil controle* ao lume do Direito, que mais parece um simples adorno agregado ao art. 37 ou o extravasamento de uma aspiração dos que burilam no texto.

Assim, muito embora o princípio da eficiência seja reconhecido como necessário para melhorar a gestão pública, sua aplicação prática, tanto no campo do Direito quanto na realidade administrativa, ainda apresenta desafios, principalmente

em termos de controle e fiscalização, uma vez que se trata de um conceito amplo e difícil de medir com precisão (Mello, 2013). Dessa forma, pode-se argumentar que, na prática, o princípio funciona mais como uma intenção do que como uma norma clara. É importante destacar, entretanto, que a busca pela eficiência não pode, em hipótese alguma, servir de justificativa para o descumprimento da legalidade, a qual constitui a principal obrigação da administração pública; assim, qualquer tentativa de tornar os processos mais rápidos ou eficazes precisa, obrigatoriamente, respeitar os limites da lei. Nesse sentido, o princípio da eficiência é “uma faceta de um princípio mais amplo já superiormente tratado, de há muito, no Direito italiano: o princípio da boa administração” (Mello, 2013).

Essa perspectiva não valoriza apenas os resultados, mas também a forma como a gestão pública é conduzida, com responsabilidade, respeito às normas e atenção ao interesse coletivo.

A crítica de Mello, ao sugerir que o princípio da eficiência se aproxima mais de uma aspiração do que de uma norma jurídica concreta, é reforçada por Pontes Lima (2022, p. 15), ao argumentar que:

Leis são aprovadas em Brasília sem maior cuidado em verificar se as administrações possuem capacidade operacional de cumpri-las e os órgãos de controle se veem com os dilemas de exigir a observância de determinação legal em administrações públicas despreparadas para tanto. O resultado não pode, obviamente, ser satisfatório e as incompreensões campeiam, entre elas o descompasso entre os órgãos de controle e a burocracia.

Na administração pública, o controle consiste na capacidade de um Poder, órgão ou autoridade de acompanhar e intervir na atuação de outro (Meirelles, 2008). Di Pietro (2004) complementa que envolve fiscalização e correção por parte dos Poderes Judiciário, Legislativo e Executivo, garantindo conformidade com as normas e valores do ordenamento jurídico.

O controle ocorre em dois momentos: primeiro, conhecer a situação por meio de fiscalização e monitoramento; depois, agir para corrigir falhas, reorganizar processos ou aplicar medidas administrativas, que podem incluir recomendações, sanções ou recompensas (Marrara, 2016).

O art. 70 da Constituição Federal estabelece que a fiscalização das contas públicas deve compreender os aspectos contábil, financeiro, orçamentário, operacional e patrimonial, observando princípios como legalidade, legitimidade e

economicidade, e ser realizada tanto pelo Congresso Nacional, na função de controle externo, quanto pelos sistemas de controle interno de cada Poder (Scliar, 2009). Como destacavam Machado e Carneiro (2024), o controle interno avalia a eficácia e eficiência da gestão orçamentária, financeira e patrimonial, além do cumprimento das metas governamentais. A fiscalização patrimonial consiste no controle e na conservação dos bens públicos, englobando tombamento, registro, guarda, movimentação, preservação, baixa, incorporação e inventário de bens móveis, adquiridos ou recebidos por doação (Fenili, 2015). O inventário anual verifica a quantidade, o estado de conservação e a responsabilidade sobre os bens, identificando necessidades de manutenção ou bens inservíveis. É obrigatório para todos os órgãos da Administração Pública Federal, sendo importante para assegurar o controle, a transparência e o correto vínculo entre aquisição de ativos e despesas financeiras (Auditoria Interna do Ministério Público da União, 2021).

Nesse contexto, verifica-se que, embora o inventário patrimonial seja uma prática obrigatória e consolidada, sua execução ainda enfrenta desafios relacionados a fragilidades estruturais, como a dependência de etiquetas, o tempo e o esforço físico demandados, a suscetibilidade a erros de registro e o retrabalho decorrente dessas ineficiências, o que contribui para maior fadiga e prolongamento do processo. Diante disso, a inovação e a utilização de tecnologias, como sensores e dispositivos móveis, surgem como alternativas capazes de apoiar a execução do inventário, potencialmente promovendo maior eficiência, economicidade e confiabilidade na gestão dos bens públicos, além de reduzir a dependência de etiquetas físicas e minimizar o retrabalho.

Nos últimos anos, os serviços que dependem de localização vêm deixando de se limitar ao espaço externo, estendendo-se também a ambientes internos. Como resultado, o posicionamento *indoor* tornou-se um tema de grande interesse tanto para a pesquisa acadêmica quanto para aplicações industriais (Ruan *et al.*, 2018). A realização do inventário patrimonial constitui uma atividade típica de ambientes internos, configurando-se como uma aplicação prática do posicionamento *indoor*.

Entre as diversas tecnologias e métodos de posicionamento *indoor* que surgiram, o BLE se destaca por “ter baixo consumo de energia, tamanho compacto, fácil implantação e implementação, geralmente suportando dispositivos móveis *mainstream*, como *smartphones* e *tablets*, sendo um dos tipos de tecnologia mais amplamente utilizados na indústria” (Ruan *et al.*, 2018, p. 529, grifo nosso).

Dessa forma, a tecnologia de posicionamento por BLE, caracterizada pelo baixo consumo de energia e compatibilidade com dispositivos móveis, se apresenta como uma solução para aplicações em ambientes internos. No contexto do inventário patrimonial, suas características podem contribuir para a automação parcial da coleta de informações, racionalizando o processo, ao permitir reorganizar e simplificar a execução das tarefas de forma a evitar desperdícios de energia, de tempo e de movimento.

3 METODOLOGIA

A pesquisa adota a abordagem de pesquisa-ação, por meio da realização de uma prova de conceito (PoC) para testar, em caráter piloto, as potencialidades da solução proposta. Trata-se de uma pesquisa aplicada, pois buscou testar a utilização de sensores BLE no processo de inventário patrimonial, considerando que seu funcionamento depende do uso de um aplicativo instalado em *smartphone*. Assim, a avaliação da usabilidade do aplicativo torna-se relevante, pois a interação do usuário com a tecnologia impacta diretamente a eficiência e a economicidade do processo. Caracteriza-se ainda como mista, combinando abordagem qualitativa, voltada à análise de processos e experiências por meio de testes de usabilidade e escalas de carga de trabalho, e abordagem quantitativa, que avalia economicamente a solução com base no Retorno sobre Investimento (ROI), permitindo mensurar de forma objetiva sua viabilidade financeira.

No que se refere ao grau de inovação, a proposta apresentada pela pesquisa se enquadra na categoria de inovação incremental. Conforme o Manual de Oslo (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2018), inovações incrementais correspondem a melhorias ou modificações em produtos, processos ou serviços existentes, sem alterar de forma significativa a estrutura geral do sistema. Nesse contexto, a pesquisa propõe a substituição de características específicas do processo de inventário patrimonial por meio da utilização de sensores BLE para localização e identificação de bens, sem, contudo, promover uma ruptura no modelo vigente de gestão patrimonial, preservando a base estrutural já estabelecida.

3.1 Caracterização da amostra

A amostra foi composta por doze bens patrimoniais de um setor administrativo e dois bens de uma sala teórica, selecionados por amostragem por julgamento (Etikan; Bala, 2017). Os dois bens da sala teórica foram escolhidos por estarem posicionados em altura (ver figura 1 a seguir), o que representa uma dificuldade adicional na conferência das etiquetas. Posteriormente, o sistema foi reconfigurado para contemplar o total dos 12 bens do setor administrativo.

Figura 1 - Projetor multimídia e tela de projeção - sala H104



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3.2 Instrumentos e ferramentas de produção de dados

Para a realização da prova de conceito, foram utilizados 12 sensores BLE padrão iBeacon, um iPhone SE como dispositivo leitor e um aplicativo BLE *scanner* para recepção e registro dos sinais emitidos pelos sensores. Os modelos e custos dos sensores encontram-se listados no Apêndice C deste trabalho.

Optou-se pelo uso de um iPhone SE, de propriedade pessoal da autora, decisão fundamentada em critérios de viabilidade prática e economicidade, uma vez que não gerou custos adicionais. Embora o sistema Android seja predominante no mercado (Sherif, 2025), a escolha do iOS revelou-se adequada ao contexto do estudo, devido à maior padronização de *hardware* e *software* do ecossistema Apple, o que facilita a sincronização entre dispositivos e dados, reduzindo a variabilidade de desempenho entre aparelhos (Granstrand & Holgersson, 2020; Chang, 2025). Ademais, o iOS oferece suporte nativo estável ao BLE (Developer, 2025b). Outro aspecto relevante foi a relativa facilidade de acesso aos sensores de protocolo iBeacon, de aquisição mais simples do que alternativas vinculadas ao sistema operacional Android. Nesse sentido, vale destacar que o Eddystone, que funcionava como o padrão BLE do Google, teve suas notificações e o suporte oficial descontinuados em dezembro de 2018, devido à baixa adesão e à experiência negativa relatada pelos usuários⁴.

⁴ Disponível em: <https://android-developers.googleblog.com/2018/10/discontinuing-support-for-android.html>.

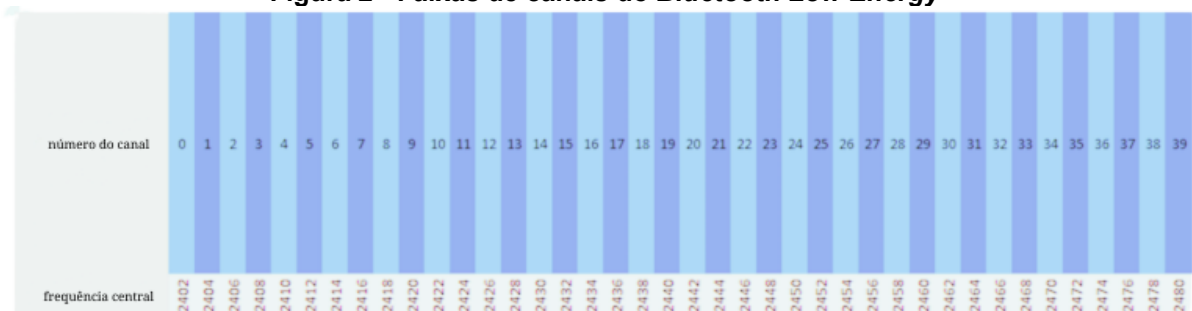
Embora o formato Eddystone ainda funcione tecnicamente e possa ser utilizado por meio da API de *Beacons* de Proximidade ou de aplicativos de terceiros, ele não recebe atualizações nem suporte oficial, o que fez do protocolo iBeacon a alternativa mais estável e acessível no mercado, influenciando a escolha adotada nesta pesquisa.

3.2.1 *Bluetooth Low Energy*

O *Bluetooth Low Energy* é um protocolo de comunicação sem fio de curto alcance, operando na faixa não licenciada de 2,4 GHz, dividida em 40 canais com espaçamento de 2 MHz (ver figura 2 abaixo), projetado para consumir pouca energia e facilitar a conectividade de dispositivos alimentados por bateria, como sensores e *wearables* (Cäsar *et al.*, 2022).

Diferente do *Bluetooth* clássico, que exige maior largura de banda e comunicação constante, o BLE envia pacotes menores de dados, permite configuração rápida e torna mais eficiente o uso de energia por meio da distribuição de tarefas entre dispositivos com diferentes capacidades de bateria (ELA, 2025; Special Interest Group, 2024). Essa eficiência energética tornou o BLE adequado para aplicações como sensores, rastreamento interno, automação, *smart cities* e dispositivos IoT (García-Ortiz; Silvestre-Blanes; Sempere-Payá, 2021).

Figura 2 - Faixas de canais do *Bluetooth Low Energy*



Fonte: Adaptado de *Special Interest Group* (2024).

3.2.1.1 RTLS simplificado: localização de bens em tempo real

A localização de objetos em ambientes internos é relevante para empresas que buscam eficiência operacional, já que sistemas GNSS⁵ não funcionam bem nesses ambientes, pois seus sinais perdem força ao atravessar paredes e tetos (Lorenc; Szarata; Czuba, 2023).

Para superar essa limitação, surgiram os Sistemas de Localização em Tempo Real (*Real-time Location System* - RTLS), que combinam *hardware*, *software* e tecnologias de comunicação para identificar e transmitir, em tempo quase real, a localização de itens ou pessoas etiquetadas (Zebra, 2025; Thiede *et al.*, 2021).

Um RTLS funciona por meio de *tags* fixadas aos objetos, que emitem sinais com identificadores e informações de posição. Esses sinais são captados por receptores distribuídos no ambiente, possibilitando o acompanhamento dos ativos. A utilidade prática dos dados depende da forma como o monitoramento é realizado: quando contínuo, pode ser aplicado, por exemplo, ao rastreamento de equipamentos em hospitais ou ao controle logístico em centros de distribuição; quando periódico ou em momentos específicos, é adequado a situações como inventários patrimoniais ou registro de presença em ambientes institucionais (Zebra, 2025).

O sistema de inventário proposto nesta pesquisa utiliza sensores BLE, também conhecidos como sensores de proximidade ou *beacons*, fixados aos bens patrimoniais e atuando como *tags* de identificação. Embora desenvolvido de forma simplificada e aplicado a uma amostra reduzida, o sistema adota os princípios de um RTLS em sua forma básica, possibilitando o rastreamento quase em tempo real e a localização dos bens (International Organization for Standardization, 2023).

Beacons são pequenos transmissores de rádio, alimentados por bateria, que utilizam o protocolo BLE para enviar dados a dispositivos receptores, como *smartphones* e outros equipamentos compatíveis com essa tecnologia. Operando em curto alcance, não exigem conexão com a internet e permitem aplicações baseadas em proximidade (Silicon, 2014; Mapsted, 2024; Afaneh, 2022). O alcance do sinal define a distância máxima em que a comunicação com o receptor é possível (ELA, 2025). A figura 3 a seguir ilustra de forma simples como funciona a comunicação entre um *beacon* e um dispositivo receptor.

⁵ Sistema Global de Navegação por Satélite (do inglês *Global Navigation Satellite System*).

Figura 3 - Comunicação entre beacon BLE e dispositivo



Fonte: Adaptado de Afaneh (2022).

Os *beacons* utilizam a tecnologia BLE por permitir comunicação unidirecional, ou seja, os sinais são enviados de um dispositivo para outro sem necessidade de resposta. O *Bluetooth* Clássico, por exigir comunicação bidirecional, não é adequado para esse tipo de aplicação (Afaneh, 2022). Enquanto o *Bluetooth* Clássico transmite grandes volumes de dados, como música ou *podcasts*, consumindo mais energia (Mapsted, 2024), os beacons transmitem dados periodicamente com baixo consumo de energia, permitindo operação por meses ou até anos com uma única bateria, característica que justifica o termo *low energy* (Mapsted, 2024).

Beacons são normalmente utilizados para determinar a proximidade de pessoas ou objetos em ambientes internos, como lojas, aeroportos, escritórios ou museus, em atividades de marketing ou informação. Nesses contextos, os beacons permanecem fixos, enquanto dispositivos móveis, como *smartphones* com aplicativos específicos, detectam sua presença e estimam sua proximidade com base na intensidade do sinal recebido (Primer, 2022). Além disso, os *beacons* são fáceis de implementar, o que contribui para sua adoção em diferentes cenários (Ghaemifar *et al.*, 2025).

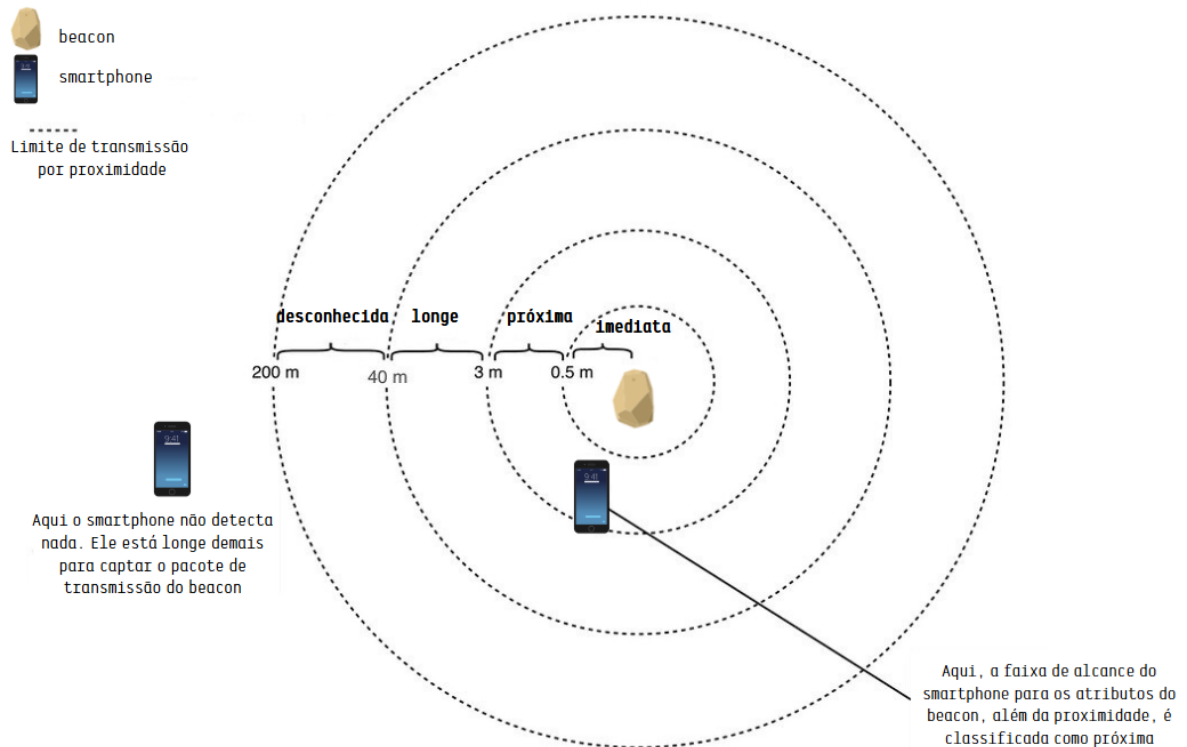
Neste estudo, o protocolo escolhido foi o iBeacon da Apple. Os *beacons* foram fixados diretamente aos bens patrimoniais, associando-se permanentemente a eles para permitir a identificação individual.

O iBeacon é de código fechado e exige conformidade com as diretrizes da Apple; transmite pacotes de publicidade pelos canais 37, 38 e 39 do BLE, evitando interferências com o tráfego de *Wi-Fi* na faixa não licenciada de 2,4 GHz (Silicon, 2014).

3.2.1.2 Introdução a tecnologia iBeacon

O iBeacon, tecnologia introduzida pela Apple no sistema operacional iOS 7, utiliza o protocolo BLE para definir zonas de proximidade, chamadas regiões, em torno de objetos ou locais específicos. Esse mecanismo permite que dispositivos móveis, como iPhones e iPads, monitorem sua interação com um transmissor de sinal, o *beacon*, detectando eventos de entrada e saída da região, além de estimar a distância relativa ao transmissor (Bensky, 2019). A principal funcionalidade do iBeacon é a detecção de proximidade, um método de localização que confirma a presença de um dispositivo dentro de uma área de cobertura predefinida, como mostrado na figura 4 abaixo, sem, entretanto, determinar sua posição exata.

Figura 4 - Distâncias de detecção dos sensores iBeacon: imediata, próxima e longe



Fonte: Adaptado de Roberts (2023).

No âmbito deste estudo, a detecção de proximidade é definida como a capacidade de um *smartphone* de captar o sinal de rádio emitido por um *beacon* afixado a um bem patrimonial, confirmando assim que o dispositivo se encontra em sua zona de alcance. Conforme as diretrizes da Apple, os *beacons* criam áreas de detecção concentradas onde é possível enviar notificações personalizadas para aplicativos compatíveis, viabilizando a comunicação de ofertas, mensagens contextuais ou informações detalhadas sobre um item de interesse (Guidelines, 2021). A figura 5 apresenta modelos de sensores com tecnologia iBeacon que, em determinado período, estiveram disponíveis no mercado.

Figura 5 - Modelos comerciais de sensores iBeacon



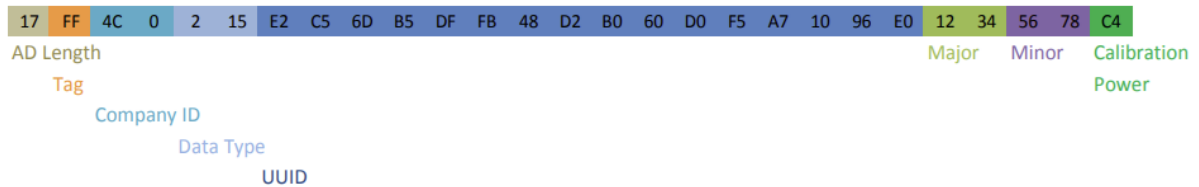
Fonte: Statler (2016).

3.2.2 Características e funcionamento dos sensores iBeacon

Os sensores iBeacon transmitem um registro de publicidade específico da Apple, contendo dados que podem ser interpretados por um dispositivo central em modo de escaneamento (Laird, 2016). Esse registro, doravante chamado de “anúncio”, é composto por quatro ou mais octetos, conforme a especificação do *Bluetooth*. Os primeiros quatro octetos incluem comprimento total, 0xFF e o ID da Apple Inc., enquanto os octetos restantes contêm os dados do iBeacon, organizados como [Tipo de Dado] [Comprimento] [UUID] [Major] [Minor] [Potência de Calibração].

O UUID tem 16 octetos, Major e Minor têm dois octetos cada, e os demais octetos são únicos (Laird, 2016), como representado na figura 6 abaixo.

Figura 6 - Dados de publicidade do iBeacon



Fonte: Laird (2016).

O AD Length indica o tamanho total dos dados de publicidade transmitidos em um pacote BLE, enquanto o Company ID identifica o fabricante do dispositivo. Nos sensores iBeacons, o Company ID é atribuído à Apple Inc., garantindo que apenas beacons dessa empresa sejam reconhecidos como tal. O anúncio também inclui o Data Type, que define a estrutura dos dados transmitidos, organizando UUID, Major, Minor e TxPower. O UUID identifica um grupo de *beacons*, Major e Minor permitem distinguir sensores específicos dentro do grupo, e TxPower indica a potência de transmissão do *beacon*, fundamental para estimar a distância até o dispositivo receptor. A relação entre TxPower e o sinal RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), ambos medidos em dBm, permite estimar a proximidade: quanto maior o TxPower, mais forte será o sinal recebido (RSSI menos negativo), considerando obstáculos e interferências. A Tag no anúncio pode categorizar ou identificar tipos específicos de *beacon* ou eventos monitorados. Esses componentes permitem que o dispositivo receptor (neste estudo, um iPhone via aplicativo) interprete corretamente as informações transmitidas pelos *beacons*, estabelecendo comunicação precisa em ambientes de proximidade (Laird, 2016; Start, 2014; Young, 2022).

Entre os componentes identificadores do anúncio iBeacon, os mais relevantes para a prova de conceito são o UUID, o Major e o Minor. O UUID (*Universally Unique Identifier* ou Identificador Único Universal) define a identidade global do sistema, enquanto Major e Minor permitem segmentar os *beacons* hierarquicamente, possibilitando diferenciar setores e bens patrimoniais, organizando o *campus* para o inventário.

Esses valores são configuráveis pelo desenvolvedor ou administrador do sistema: o UUID deve ser único para a aplicação ou organização; o Major diferencia grandes grupos dentro de um mesmo UUID, como andares, e Minor permite subdivisões mais detalhadas, como salas específicas (Quadro 1). Esses parâmetros podem ser ajustados conforme necessário para o caso de uso (Start, 2014).

Quadro 1 - UUID, Major e Minor detalhados para sensores iBeacon

IDENTIFICADOR	TAMANHO	DESCRIÇÃO
UUID	16 bytes 128 bits	Os desenvolvedores de aplicativos devem definir um UUID específico para seu aplicativo e caso de uso na implementação.
Major	2 bytes 16 bits	Especifica ainda mais um iBeacon e seu caso de uso. Por exemplo, pode definir uma sub-região dentro de uma região maior determinada pelo UUID.
Minor	2 bytes 16 bits	Permite uma subdivisão adicional da região ou caso de uso, conforme definido pelo desenvolvedor do aplicativo.

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em Start (2014).

O quadro 2 exemplifica a aplicação desses valores em uma rede fictícia de lojas. O UUID é compartilhado por todas as unidades, permitindo que um dispositivo iOS reconheça qualquer loja dentro de uma região. Cada loja recebe um Major exclusivo, identificando sua localização, e os departamentos dentro de cada loja recebem valores Minor distintos, facilitando que o aplicativo identifique rapidamente os setores (Start, 2014).

Quadro 2 - Aplicação do UUID, Major e Minor na segmentação de lojas e departamentos

Localização da loja		São Paulo	Rio de Janeiro	Espírito Santo
UUID		D9B9EC1F-3925-43D0-80A9-1E39D4CEA95C		
Major		1	2	3
Minor	Roupas	10	10	10
	Utensílios	20	20	20
	Sapatos	30	30	30

Fonte: Adaptado de Start (2014).

Nesta pesquisa, os identificadores UUID, Major e Minor foram atribuídos ao campus e aos bens patrimoniais, permitindo que cada *beacon* fosse identificado de maneira única dentro da UTFPR CM, minimizando conflito com outros sinais BLE.

O UUID é representado por 128 bits (16 bytes) e, para este estudo, foi gerado utilizando a versão 4 da ferramenta UUID Generator⁶, baseada em números aleatórios seguros. Embora a probabilidade de duplicação seja extremamente baixa, não há garantia absoluta de exclusividade. O UUID gerado para o campus Campo Mourão foi 33ce1676-cc6c-4371-b8c4-24d8deed4bac. Caso houvesse bens de outro campus, situação improvável, mas não impossível, um novo UUID poderia ser gerado para diferenciá-los. O Major e o Minor são valores inteiros de 0 a 65535 (2 bytes cada). O Major identifica grupos de *beacons*, como regiões ou conjuntos de dispositivos, enquanto o Minor identifica um *beacon* específico dentro do grupo, facilitando a gestão e configuração da rede (Beaconzone, 2025; Bertoleti, 2020; BLE, 2018). Desta forma, o Major 10115 identifica o setor SEGEA, local da PoC, enquanto o setor DIRGRAD, usado como controle, recebe Major 10114. O Minor não foi usado para subgrupos e foi mantido igual ao Major para simplificar a configuração. Assim, se um bem estiver no SEGEA, mas com Major/Minor 10114, indica que ele está fora do local esperado, sendo registrado como inconsistência no relatório de inventário. O quadro 3 a seguir apresenta os identificadores de UUID, Major e Minor dos *beacons* usados na prova de conceito.

Quadro 3 - UUID, Major/Minor usados na PoC para UTFPR CM, SEGEA e DIRGRAD

IDENTIFICADOR	ID ÚNICO	FUNÇÃO
UUID	33ce1676-cc6c-4371-b8c4-24d8deed4bac Campo Mourão	Identifica o campus dentro da UTFPR ao qual o bem pertence
Major/Minor	10115 - SEGEA	Identifica a Secretaria de Gestão Acadêmica [SEGEA] como o setor específico da UTFPR-CM ao qual o bem patrimonial está vinculado
Major/Minor	10114 - DIRGRAD	Identifica a Diretoria de Graduação e Educação Profissional [DIRGRAD], como o setor específico da UTFPR-CM ao qual o bem patrimonial está vinculado

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em Start (2014).

⁶ Disponível em: <https://www.uuidgenerator.net/>.

O sistema de *beacons* utilizado na prova de conceito opera em duas etapas simultâneas (Developer, 2025a):

- 1) Monitoramento regional: captação passiva dos sinais BLE para detectar a proximidade e localização dos bens.
- 2) Medição de alcance: estimativa da proximidade dos bens com base na intensidade do sinal RSSI.



Após a localização, procede-se à inspeção visual de cada item para verificar seu estado de conservação, em conformidade com a legislação vigente.

Para a prova de conceito, foi necessário compreender a estrutura e função dos identificadores nos anúncios transmitidos pelos *beacons*, permitindo segmentação hierárquica, distinção de áreas e individualização de bens.

A partir dos quadros 4 e 5 a seguir, observa-se que todos os *beacons* possuem um endereço MAC (*Media Access Control*), um identificador único de hardware de 48 bits (6 *bytes*) usado para identificar dispositivos *Bluetooth*, como *smartphones*, fones ou *beacons*.

Os primeiros 24 bits correspondem ao OUI (*Organizationally Unique Identifier*), indicando o fabricante, e os últimos 24 bits são atribuídos pelo fabricante. Alguns *beacons* podem usar endereços MAC dinâmicos para maior privacidade (Beaconzone, 2023; Macaddress, 2025). Neste estudo, o MAC não teve função de identificação nem segmentação.

Quadro 4 - Detalhes dos *beacons* e seus respectivos anúncios: PoC H104

ITEM- ENDEREÇO MAC	MAJOR/MINOR	DESCRIÇÃO DO BEM E ID NO SENSOR	NÚMERO DE TOMBO	CHIP	BATERIA	BLE	FOTO
1- E9:40:C8:12:D7:19	10115 - SEGEA	Projeter multimidia [PROJ556486]	556486	nRF52810	CR2032	5.0	
2- C7:4C:94:0A:31:D9	10115 - SEGEA	Tela projecção [TELA374819]	374819	nRF52810	CR2032	5.0	

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 5 - Detalhes dos *beacons* e seus respectivos anúncios: PoC SEGEA

ITEM - ENDEREÇO MAC	MAJOR/MINOR	DESCRIÇÃO DO BEM E ID NO SENSOR	NÚMERO DE TOMBO	CHIP	BATERIA	BLE	FOTO
1- C5:03:64:E5:C8:41	10115 - SEGEA	Cadeira (CADE373618)	373618	nRF52810	CR2032	5.0	
2- D3:47:7D:40:38:59	10115 - SEGEA	Mesa (MES357847)	357847	nRF52810	CR2032	5.0	
3- E2:60:D0:94:D1:59	10115 - SEGEA	Computador (PC620996)	620996	nRF52810	CR2032	5.0	
4- CE:82:E4:08:9E:15	10115 - SEGEA	Monitor (MONI621037)	621037	nRF52810	CR2032	5.0	
5- D8:40:CB:03:07:81	10115 - SEGEA	Monitor (MONI615829)	615829	nRF52810	CR2032	5.0	
6- DE:03:75:9C:05:07	10115 - SEGEA	Mesa (MESA371802)	371802	nRF51822	CR2477	4.2	
7- C0:FA:90:FA:05:BB	10115 - SEGEA	Cadeira (CAD635909)	635909	nRF51822	CR2477	4.2	
8- D0:19:C8:C4:6D:D0	10114 - DIRGRAD	Armário (ARM598347)	598347	nRF52810	CR2032	5.0	
9- F3:EE:E4:94:77:D7	10114 - DIRGRAD	Armário (ARM358790)	358790	nRF52810	CR2032	5.0	
10-F6:79:2B:67:D5:C3	10115 - SEGEA	Armário (ARM356224)	356224	nRF52810	CR2032	5.0	
11-C7:4C:94:0A:31:D9	10115 - SEGEA	Computador (PC574018)	574018	nRF52810	CR2032	5.0	
12-E9:40:C8:12:D7:19	10115 - SEGEA	Armário (ARM631482)	631482	nRF52810	CR3032	5.0	

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

O anúncio do *beacon*, ao ser recepcionado pelo aplicativo BLE, permite a estimativa da proximidade entre o sensor e o receptor por meio da análise da intensidade do sinal RSSI, principal medida sensorial dos dispositivos BLE (Koksal *et al.*, 2025). Essa medida, embora sujeita a variações ambientais, oferece uma correlação prática entre a força do sinal e a distância relativa: valores próximos de 0 dBm, como -30 dBm, indicam maior intensidade e, portanto, maior probabilidade de proximidade física; já valores mais negativos, como -90 dBm, sugerem maior afastamento e menor confiabilidade na estimativa (Beaconzone, 2023).

Esta abordagem, embora não forneça localização exata, é eficaz para aplicações que demandam apenas uma estimativa aproximada, como o rastreamento de ativos em ambientes internos. No contexto de inventários patrimoniais, a integração do *iBeacon* com inspeções presenciais permite não apenas identificar a posição dos bens, mas também verificar seu estado de conservação.

3.3 Procedimentos de produção de dados

Os dados deste estudo foram produzidos a partir de um iPhone modelo SE, um aplicativo e os sensores. Adotou-se o termo “produção de dados” em vez de “coleta”, pois os dados resultam da interação entre a autora, as ferramentas tecnológicas e a execução do inventário na prova de conceito (Tavares, 2025b), e não preexistem de forma isolada.

3.3.1 Prova de Conceito: Smart Inventário

Uma prova de conceito (PoC) é um teste inicial, em menor escala, que testa a viabilidade e funcionalidade de uma ideia ou solução técnica, com baixo custo e simplicidade (Klee, 2025; Boyarko, 2024). De acordo com Ayello e Lopes (2023, p. 3), provas de conceito referem-se a “metodologias específicas de teste voltadas para o parâmetro que está sendo avaliado. Trata-se de uma terminologia genérica utilizada em diversas áreas quando se pretende verificar um requisito contido em um dispositivo”.

O sistema proposto nesta pesquisa, fundamentado na utilização de sensores BLE para apoiar a realização do inventário patrimonial, constitui o objeto da prova de conceito realizada. Nesse contexto, não se trata de um parâmetro em si, mas sim da solução tecnológica a ser submetida à avaliação. Os parâmetros considerados correspondem aos critérios definidos nos objetivos específicos da pesquisa, a saber: a usabilidade do sistema em um cenário de prova de conceito; o tempo necessário para a execução do inventário antes e depois da implementação; as contribuições para a minimização de erros e para a redução do esforço físico; e, por fim, a viabilidade econômica da aplicação da tecnologia. Assim, os critérios de avaliação do sucesso da PoC realizada neste estudo foram definidos com foco na eficiência do processo e na redução do tempo de execução do inventário, não sendo consideradas questões de

segurança ou confidencialidade, uma vez que os dados utilizados se restringem a números de tombo. Os critérios foram:

- 1) Eficiência de tempo: comparar o tempo do inventário antes e depois da implementação dos sensores BLE, esperando redução significativa.
- 2) Precisão e redução de erros: avaliar a correspondência entre os dados dos sensores e a contagem manual, considerando sucesso se houver redução de erros.
- 3) Usabilidade: analisar a facilidade de uso do aplicativo, considerando intuitividade e necessidade mínima de treinamento.
- 4) Custo e economia: avaliar implicações financeiras, considerando custo-benefício positivo em 2025.
- 5) Impacto na eficiência operacional: avaliar redução do tempo e esforço no inventário, promovendo gestão mais ágil e eficiente.

3.3.2 Ambiente de teste

A PoC foi realizada na sala H104 e na SEGEA, ambientes representativos do inventário real, simulando o fluxo e as condições do processo operacional, como é possível observar pelas figuras 7 e 8 a seguir.

Figura 7 - Ambiente SEGEA



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 8 - Ambiente Sala teórica H104

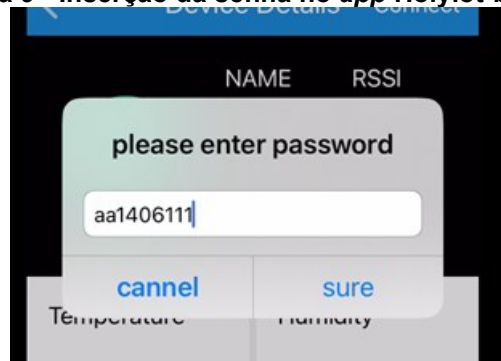
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Durante a prova de conceito (PoC), foram realizados dois trajetos, da SEGEA até o estacionamento principal e da SEGEA até a sala H104, com o objetivo de testar a capacidade de detecção dos sensores. Em ambos os casos, observou-se que os sinais perdiam intensidade ou deixavam de ser captados conforme a distância em relação aos sensores aumentava, voltando a ser detectados apenas com a reaproximação. Esse comportamento evidencia a limitação do alcance dos dispositivos e sua dependência da proximidade física para localização dos bens.

3.4 Configuração e instalação dos sensores

Os sensores iBeacon da Holyiot foram adquiridos por meio da plataforma AliExpress. A empresa fornecedora disponibiliza um aplicativo gratuito que permite a personalização do anúncio de cada *beacon*, incluindo o nome, o UUID e os valores de *Major* e *Minor*. O acesso ao aplicativo é protegido por senha, como demonstrado na figura 9 a seguir, garantindo a integridade das configurações e restringindo alterações não autorizadas.

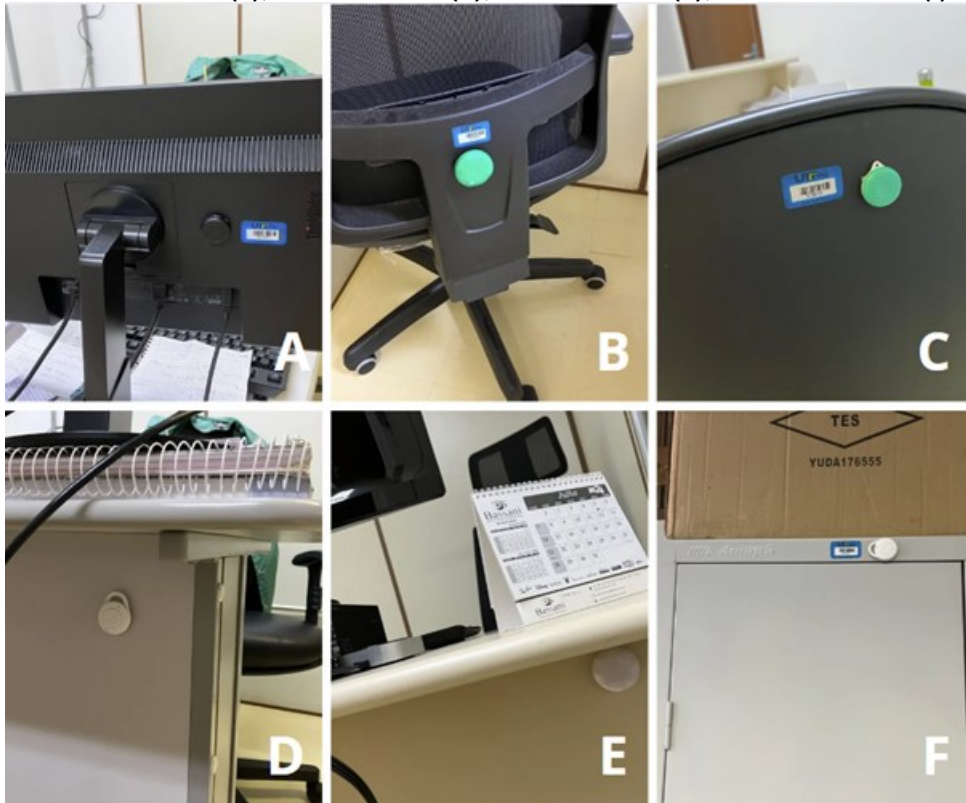
Figura 9 - Inserção da senha no *app* Holyiot-beacon.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

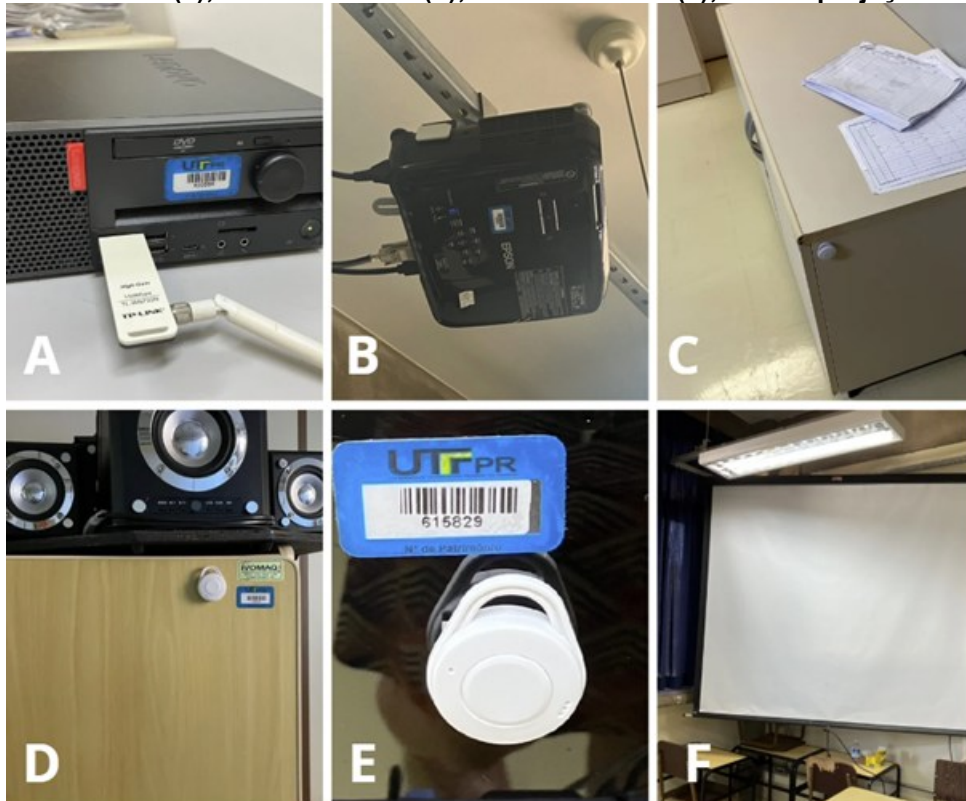
A personalização dos sensores foi realizada com base em um vídeo tutorial da *Holyiot* (Tavares, 2025a), que orienta o processo de configuração. Cada bem foi nomeado de forma a combinar o tipo de item com seu respectivo número de tombo. Devido à limitação de caracteres no campo de nome, optou-se por abreviar o tipo de bem. Por exemplo, o código ARM232323 refere-se a um armário com número de tombo 232323. Todos os sensores da PoC foram testados e considerados aptos para o teste. A instalação dos *beacons* respeitou a posição fixa de cada bem patrimonial, tanto na SEGEA quanto na sala H104. Cada dispositivo foi fixado com segurança em seu respectivo bem, utilizando fita adesiva dupla face de alta resistência, do tipo “fixação extrema”. Como os bens patrimoniais não podiam ser deslocados, os *beacons* foram posicionados estrategicamente para melhorar o alcance do sinal RSSI, considerando as limitações físicas de cada ambiente. Após a instalação, todos os preparativos da prova de conceito foram finalizados, e os sensores foram fotografados para fins de registro e controle nas salas H104 e SEGEA, conforme ilustrado nas figuras 10 e 11 a seguir.

Figura 10 - Sensores fixados aos bens patrimoniais: monitor 621037 (a); cadeira 635909 (b); cadeira 373618 (c); mesa 357847 (d); mesa 371802 (e); armário 598347 (f)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 11 - Sensores fixados aos bens patrimoniais: computador 620996 (a); projetor 556486 (b); armário 358790 (c); armário 356224 (d); monitor 615829 (e); tela de projeção 374819 (f)



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3.4.1 Custos operacionais da prova de conceito

Nesta seção, são apresentados os custos envolvidos na aquisição dos materiais utilizados na PoC, incluindo os sensores BLE, as baterias e a fita adesiva dupla face. Embora a análise de custos, prevista no escopo desta pesquisa, estivesse focada na avaliação qualitativa da eficiência e economicidade do uso dos sensores BLE na realização do inventário, o impacto das recentes mudanças tributárias (Brasil, 2024) e da variação cambial mostrou-se relevante, merecendo maior destaque, especialmente no que diz respeito à economicidade.

As novas diretrizes para a tributação de produtos importados adquiridos por meio de *e-commerce* estabelecem a aplicação de impostos sobre produtos adquiridos via remessas postais e encomendas aéreas internacionais. Compras de até US\$ 50 serão tributadas com uma alíquota de 20%, enquanto para itens com valores entre US\$ 50,01 e US\$ 3 mil, a taxa será de 60%, com uma dedução fixa de US\$ 20 sobre o valor total do imposto⁷. Os sensores utilizados nesta pesquisa foram adquiridos no AliExpress em dois pedidos realizados em datas diferentes no ano de 2024, categorizados como Remessa Postal Internacional, mercadoria vinda da China.

O primeiro pedido, realizado em fevereiro de 2024, teve um custo total de R\$ 576,50. Exatamente um ano depois, em fevereiro de 2025, com a aplicação de impostos de 20% sobre compras internacionais e o aumento no preço de alguns sensores, o custo previsto seria de R\$ 1.125,75, representando um aumento de 95,27%. De forma similar, o pedido 2, que em abril de 2024 teve um custo de R\$ 110,00, teria um custo de R\$ 191,34 em fevereiro de 2025, resultando em uma variação de 73,94%, também devido à aplicação das novas taxas de importação e à variação do dólar. Ambos os pedidos de 2024 foram retidos pela alfândega, com o pedido 1 tendo um custo adicional de R\$ 29,61 e o pedido 2, de R\$ 28,48, referentes a tributos (Apêndice C). Desta forma, conclui-se que a alteração na política de impostos sobre importações teve um impacto considerável no custo final, elevando significativamente o preço dos sensores.

⁷ Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2024/julho/receita-federal-implementa-novas-regras-para-as-importacoes-por-e-commerce>.

3.5 Produção e análise de dados

Na realização dos testes, foram considerados os aspectos de eficiência, usabilidade, satisfação de uso, qualidade da *interface*, carga de trabalho percebida e análise econômica (ROI), contemplando tanto elementos objetivos, como tempos de execução e taxa de sucesso nas tarefas, quanto subjetivos, como percepção de esforço e facilidade de uso do sistema de inventário proposto.

Para isso, foram adotados os seguintes métodos: cronometragem, utilizada também para subsidiar o cálculo do ROI, teste de usabilidade com as regras de ouro de Shneiderman, aplicação da escala SUS em uma autoavaliação, percurso cognitivo simplificado, avaliação da carga de trabalho por meio da escala NASA-TLX e, como teste adicional, a escala ARWES.

A produção de dados ocorreu por meio de capturas de tela e gravações em vídeo, registrando as interações com o aplicativo Holyiot-beacon.

Na pesquisa qualitativa, a produção e a análise dos dados ocorrem ao mesmo tempo, sem uma separação formal entre essas etapas, o que possibilita ajustes e refinamentos à medida que novas interpretações surgem. Essa dinâmica torna a pesquisa mais flexível, permitindo a inclusão de novas categorias de análise ao longo do processo (Zanella, 2006). Assim, nesta dissertação, a apresentação da produção e da análise dos dados é realizada em uma única seção, considerando a interdependência entre os testes realizados e suas interpretações.

3.5.1 Cronometragem

No inventário realizado pelo método tradicional, o tempo necessário para concluir a identificação dos 12 bens foi de 10 minutos, 59 segundos e 54 milissegundos (ou 659,054 segundos). Com o uso dos sensores BLE, esse tempo foi reduzido para 4 minutos, 41 segundos e 99 milissegundos (ou 281,099 segundos), representando uma redução de 57,3% no tempo total.

3.5.2 Escala Task Load Index (NASA-TLX)

O termo carga de trabalho é uma construção teórica que surgiu para explicar a constante interação entre as demandas de uma tarefa e as capacidades físicas e psicológicas dos trabalhadores para lidar com elas. Essa relação cria uma tensão, pois é preciso equilibrar as exigências do trabalho com as limitações do trabalhador

(Frutuoso; Cruz, 2005). De acordo com Young e Stanton (2004, p. 374, grifo nosso), a “carga de trabalho *mental* de uma tarefa representa o nível de recursos atencionais⁸ necessários para atender aos critérios de desempenho objetivos e subjetivos, podendo ser influenciada pelas demandas da tarefa, pelo suporte externo e pela experiência prévia”.

A carga de trabalho não é uma característica fixa, mas resulta da interação entre as exigências da tarefa, as condições em que é realizada e as capacidades e percepções do operador. Assim, além dos fatores objetivos da atividade, a experiência subjetiva do operador reflete influências diversas. A carga de trabalho, nesse contexto, pode ser entendida como “uma medida das exigências impostas ao usuário”, o que reforça a importância de considerar aspectos individuais e situacionais na avaliação do desempenho (Hart; Staveland, 1988, p. 140).

A avaliação da carga de trabalho em uma tarefa é subjetiva, ou seja, as pessoas avaliam com base em suas percepções pessoais, sem uma referência objetiva ou padrão fixo para comparar essas avaliações. Além disso, não existem unidades físicas ou métricas específicas que possam ser usadas para medir diretamente a carga de trabalho ou seus diversos componentes, como o esforço mental ou físico envolvido. Portanto, a carga de trabalho é uma experiência pessoal e difícil de quantificar de maneira exata.

Através de uma abordagem multidimensional, a NASA-TLX calcula uma pontuação geral de carga de trabalho, considerando uma média ponderada das classificações em seis subescalas: Demanda Mental, Demanda Física, Demanda Temporal, Esforço, Desempenho e Frustração (National Aeronautics and Space Administration, 2020; Hart; Staveland, 1988). Essas subescalas, ou dimensões (Braarud, 2020), são consideradas elementos essenciais da carga de trabalho total para a maioria dos indivíduos e para a maior parte das situações (Hart, 2006). O quadro 6 a seguir lista as subescalas da NASA-TLX.

⁸ Recursos atencionais são a capacidade limitada do cérebro de processar informações e focar em tarefas. Eles representam a quantidade de atenção disponível que uma pessoa pode direcionar para diferentes atividades ao mesmo tempo (Silva; Fonseca; Correia, 2020).

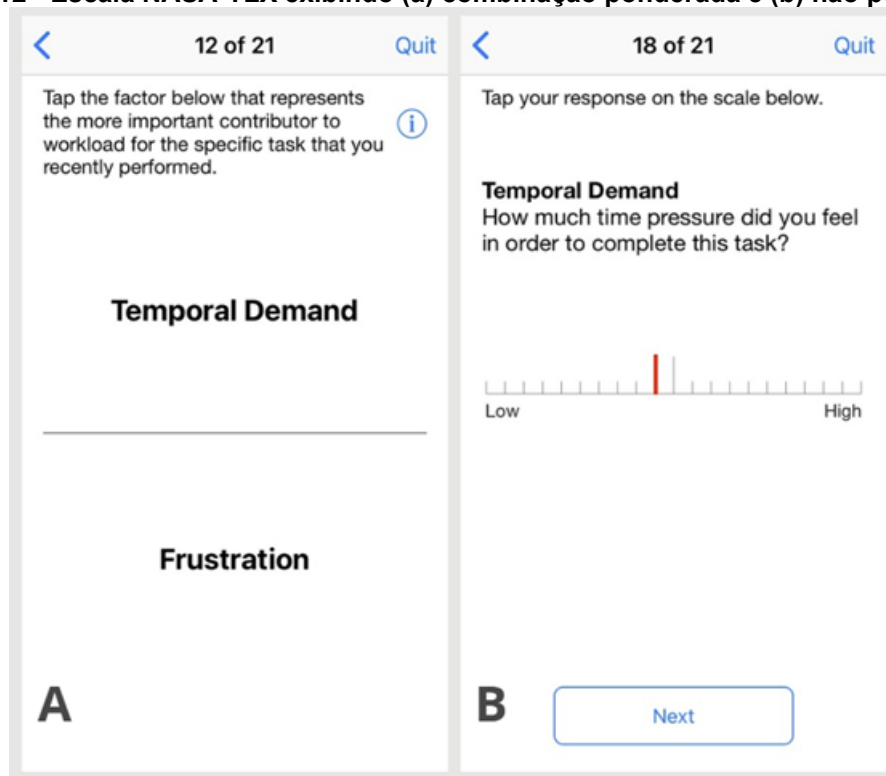
Quadro 6 - Subescalas da NASA-TLX para avaliar carga de trabalho subjetiva

Subescala	Descrição
Demanda Mental	Refere-se à quantidade de esforço mental e atividade perceptual exigidos durante a execução da tarefa.
Demanda Física	Relaciona-se ao nível de esforço físico necessário para completar a tarefa.
Demanda Temporal	Refere-se à pressão percebida em termos de tempo, resultante da velocidade ou ritmo exigido para completar a tarefa.
Esforço	Nível de esforço percebido [mental e físico] necessário para atingir um nível satisfatório de desempenho.
Desempenho	Percepção do grau de sucesso alcançado na execução da tarefa em relação aos objetivos estabelecidos [pelo analista ou pelo próprio usuário].
Nível de Frustração	Refere-se à sensação de insegurança, desânimo, irritação, estresse ou desconforto, ao invés de sentimentos positivos como confiança, gratificação ou relaxamento.

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em Barajas-Bustillos et al. (2023).

Para validar a escala NASA-TLX, é necessário combinar as classificações das subescalas em uma pontuação geral de carga de trabalho. Isso pode ser feito de duas maneiras: na combinação ponderada e na não ponderada. Na ponderada (ver figura 12A abaixo), os usuários escolhem a dimensão que melhor representa sua experiência de demanda, determinando o peso de cada uma; já na combinação não ponderada (ver figura 12B abaixo), as classificações brutas das subescalas são simplesmente médias ou somadas, assumindo que todas as dimensões têm a mesma importância (Research, 2023). Desta forma, na fase de ponderação, o participante realiza comparações entre as diferentes dimensões de carga de trabalho (como demanda mental, demanda física, esforço etc.) e escolhe qual delas é mais representativa para sua experiência em relação à carga de trabalho. Esse processo é realizado em pares (*pairwise*), quando o participante compara duas dimensões de cada vez e escolhe a mais relevante para a sua percepção da tarefa.

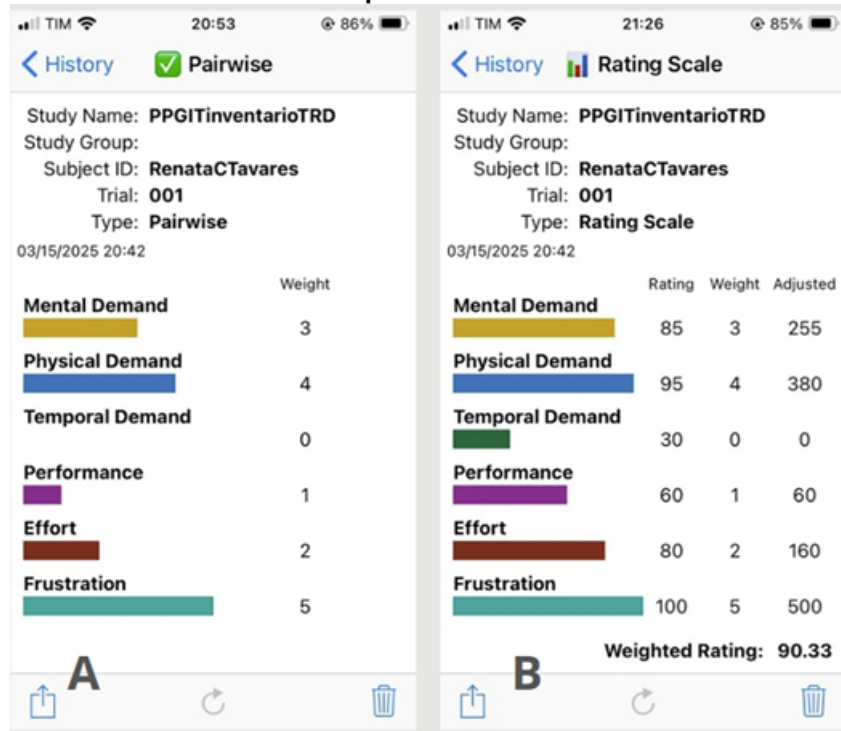
Figura 12 - Escala NASA-TLX exibindo (a) combinação ponderada e (b) não ponderada



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

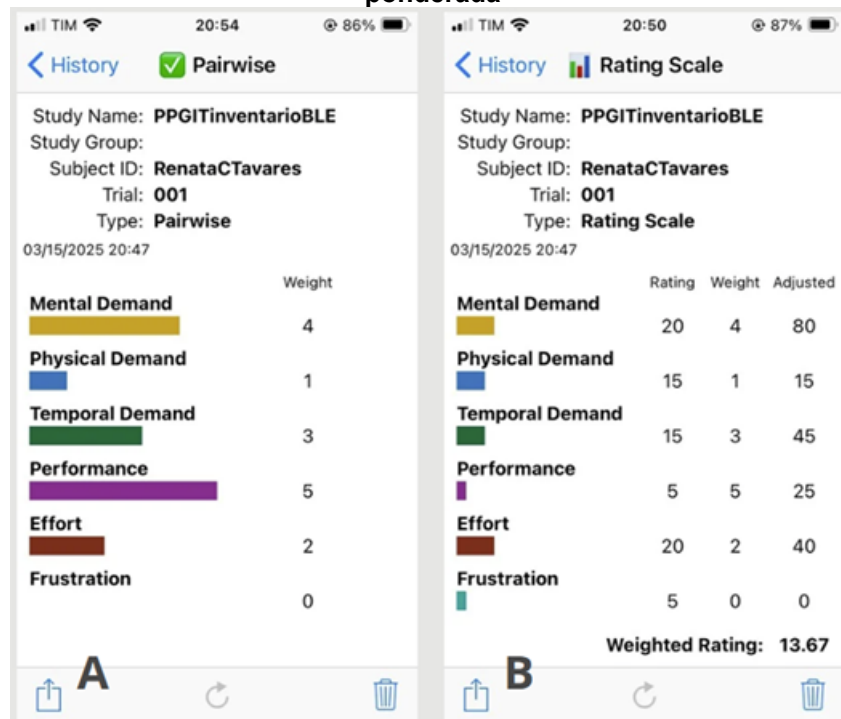
Embora a escala NASA-TLX seja amplamente utilizada, sua aplicação e pontuação podem ser complexas. Por isso, utilizou-se o aplicativo oficial, disponível gratuitamente na *App Store*, com suporte do guia do usuário (Gore; Kim, 2017), facilitando a aplicação e o registro dos dados. A NASA-TLX foi aplicada em dois momentos: durante o inventário tradicional e durante o inventário com sensores BLE, ambos na prova de conceito, permitindo comparar a carga de trabalho percebida. Idealmente, o teste deve ser feito durante a execução da tarefa, mas também pode ser aplicado logo após. A autora precisou refazer os testes, pois o aplicativo mantém o histórico por tempo limitado, resultando na perda dos dados anteriores. As figuras 13 e 14 a seguir apresentam os resultados obtidos nas duas situações.

Figura 13 - Escala NASA-TLX para inventário tradicional: (a) ponderada (*pairwise*) e (b) não ponderada



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Figura 14 - Escala NASA-TLX para inventário com BLE: (a) ponderada (*pairwise*) e (b) não ponderada



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A interpretação da pontuação, baseada no *Workload Weighting Level* (Nível de Ponderação da Carga de Trabalho), segue a seguinte classificação: baixo (0-9),

médio (10-29), relativamente alto (30-49), alto (50-79) e muito alto (80-100). Para este estudo, a carga de trabalho foi considerada muito alta (90,33) no inventário tradicional e média (13,67) no inventário com sensores BLE.

Apesar de a prova de conceito envolver apenas 12 bens, a elevada carga de trabalho no inventário tradicional pode ser explicada por alguns fatores. O processo de verificação das etiquetas uma a uma, mesmo com poucos itens, é demorado e exigente. Etiquetas com números de tombo ilegíveis ou ausentes exigem verificações adicionais, aumentando o tempo necessário. Além disso, o esforço físico de se agachar para localizar as etiquetas contribui para desconforto e fadiga. Por fim, a repetitividade e a monotonia da tarefa, combinadas com o desconforto físico, podem ter aumentado a frustração, elevando a percepção de carga de trabalho, mesmo em um inventário reduzido.

3.5.2.1 Escala de Estimativa de Carga de Trabalho AFFTC (ARWES)

Como teste complementar, foi aplicada a escala ARWES (*Air Force Workload Estimate Scale*), desenvolvida por Ames e George (1993) para o Centro de Testes de Voo da Força Aérea dos Estados Unidos. A ARWES é uma escala simplificada de carga de trabalho mental, avaliando, a partir de uma única pergunta, três aspectos: nível de atividade, demandas do sistema e tempo disponível (Jensen, 2015).

Nesta pesquisa, a escala foi utilizada de forma rápida e prática para avaliar a carga de trabalho em duas tarefas: inventário tradicional e inventário com sensores BLE. Os participantes foram instruídos a ler cada afirmação cuidadosamente e selecionar a opção que melhor representasse a carga de trabalho percebida durante a execução da tarefa, considerando sua experiência subjetiva no momento da atividade (ver quadro 7 a seguir).

Quadro 7 - Afirmações da escala ARWES

Afirmção	
1	Nada a fazer; nenhuma demanda do sistema.
2	Atividade leve; demandas mínimas.
3	Atividade moderada; facilmente administrável com considerável tempo livre.
4	Atarefada; situação desafiadora, mas administrável; tempo adequado disponível.
5	Muito atarefada; difícil de administrar; quase sem tempo suficiente.
6	Extremamente atarefada; muito difícil; tarefas não essenciais adiadas.
7	Sobrecarregada; sistema não administrável; tarefas essenciais não realizadas; situação de risco.

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em TestScience (2025).

Como a ARWES é uma escala de item único, não exige pontuação; a interpretação da carga de trabalho depende da afirmação selecionada pelo participante. Para esta pesquisa, a escala foi aplicada em dois momentos da prova de conceito: durante o inventário tradicional e com sensores BLE. O inventário tradicional foi classificado pela Afirmação 4, indicando uma tarefa desafiadora, porém gerenciável. Já o inventário com sensores BLE foi classificado pela Afirmação 2, sugerindo esforço significativamente menor.

A avaliação da carga de trabalho pelas escalas NASA-TLX e ARWES mostrou resultados convergentes: o uso dos sensores BLE reduziu o esforço mental, físico e o tempo necessário, tornando a tarefa mais eficiente e menos exigente.

3.5.3 Teste de Usabilidade

A usabilidade, atributo central da experiência do usuário (UX), avalia a facilidade e eficiência da interação com sistemas digitais (Sippola, 2017). Nesta pesquisa, o aplicativo Holyiot-beacon, utilizado na prova de conceito como *scanner* BLE, foi testado em termos de eficiência, facilidade de uso e desempenho em contexto real de gestão patrimonial. A autora foi a única participante, executando tarefas roteirizadas do sistema de *smart* inventário e refletindo criticamente sobre a experiência, identificando facilidades e dificuldades. O roteiro de avaliação baseou-se nas oito regras de ouro de Shneiderman *et al.* (2016), priorizando consistência, *feedback* imediato e controle do usuário (Apêndice B). O teste não moderado permitiu

observar diretamente a interação e registrar dados para análise de usabilidade, com os resultados apresentados no quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Aplicação das Regras de Ouro de Shneiderman na interação com o aplicativo Holylot-beacon

Regra de Shneiderman	Aplicação no Contexto da Pesquisa: Aplicativo Holyiot-beacon
1. Buscar a consistência	Apesar da ausência de um menu convencional, o aplicativo assegura consistência nos ícones e comandos, promovendo uma navegação intuitiva e contínua por parte da usuária. A interface mantém padrão na exibição das informações dos sensores iBeacons: mesma estrutura de informações [UUID, Major, Minor, RSSI, MAC, carga da bateria e sinal dBm].
2. Permitir que usuários frequentes usem atalhos	O aplicativo é bastante simples, com poucas funcionalidades. Não há atalhos propriamente ditos, mas a abertura direta da tela de escaneamento facilita a rotina.
3. Oferecer feedback informativo	O aplicativo indica a presença dos sensores por meio da recepção dos anúncios dos sensores iBeacon. A proximidade é sinalizada visualmente com a alternância da cor de vermelho para verde no indicador de sinal dBm, o que ajuda a usuária a perceber quando o bem está próximo [Figura 52]. A lista de sensores atualiza-se em tempo real conforme dispositivos entram ou saem da área de alcance. Ainda assim, faltam mensagens mais explícitas que confirmem a identificação do bem ou sinalizem de forma inequívoca a conclusão da ação.
4. Projetar diálogos com fechamento	A interface informa de forma clara quando determinadas tarefas são concluídas, como na alteração do nome do sensor ou senha correta, em que uma mensagem de confirmação é exibida. No entanto, para ações centrais, como a identificação do bem patrimonial, não há uma sinalização conclusiva, o que pode gerar incerteza sobre a finalização da tarefa.
5. Prevenir erros e oferecer tratamento simples de erros	Não há alertas nem explicações em caso de leitura falha. A ausência de orientação pode levar ao erro, especialmente em ambientes com muitos sinais.
6. Permitir reversão fácil das ações	O aplicativo não permite desfazer ou corrigir uma varredura, já que ela é contínua. Reiniciar o processo é a única alternativa.
7. Dar à usuária a sensação de estar no controle	A usuária inicia e conduz a ação principal do aplicativo e permite a personalização dos sensores. A usuária inicia e encerra manualmente o escaneamento. Há clareza no controle da atividade principal. A sensação de que é a usuária quem está no comando existe.
8. Reduzir a carga de memória de curto prazo	A interface é simples e direta, o que ajuda. As informações essenciais dos sensores para identificação são apresentadas de forma direta na interface, sem exigência de memorização.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Durante o teste, a navegação inicial se mostrou intuitiva e a interação com os sensores BLE foi rápida e precisa na maior parte do tempo. As funcionalidades estavam organizadas, embora houvesse oportunidade de refinar a usabilidade e tornar a navegação mais fluida. A velocidade do aplicativo poderia ser aprimorada em momentos de múltiplas identificações consecutivas, e funções como adição ou edição de informações (nome, *Major/Minor*, UUID) precisariam de instruções mais claras, possivelmente por meio de uma seção de ajuda.

O teste autoavaliativo permitiu identificar aspectos relevantes da interação com o aplicativo e os sensores BLE. Os resultados indicam que o sistema apresenta bom funcionamento e eficiência, embora haja possibilidades de aprimoramento de certas funções e inclusão de novas, de modo a tornar a experiência mais ágil e fluida. Essas constatações podem subsidiar o desenvolvimento de um aplicativo específico

para inventário patrimonial, com *interface* adequada à tarefa e maior qualidade na interação com o usuário.

3.5.4 Aplicação da Escala de Usabilidade do Sistema (SUS)

Neste estudo, a avaliação da usabilidade seguiu a tríade eficácia, eficiência e satisfação, sendo esta medida empiricamente pela Escala de Usabilidade do Sistema (SUS). Segundo Sauro (2018, não paginado, tradução nossa), “um sistema pode ser qualquer coisa com a qual um ser humano interage: aplicativos de *software*, *hardware*, dispositivos móveis, *sites* ou *interfaces* de voz”.

A SUS, criada em 1984 por John Brooke (1996), é uma ferramenta rápida e simples para medir a facilidade de uso percebida de um sistema, aplicada após testes de usabilidade (Sauro, 2011). Consiste em um questionário de 10 perguntas em escala Likert (Apêndice A), avaliando facilidade de uso, satisfação e experiência geral. As perguntas alternam afirmações positivas e negativas e devem ser mantidas sem alterações, exceto para adequação ao tipo de sistema avaliado (YourCX, 2024).

Nesta pesquisa, foi adotada a versão do SUS composta apenas por afirmações positivas, considerada segura e capaz de gerar pontuações equivalentes à versão padrão, reduzindo possíveis erros de respondentes ou pesquisadores (Sauro; Lewis, 2011). O questionário foi aplicado logo após a interação da autora com o sistema de sensores BLE durante a execução do inventário na prova de conceito.

Cada afirmativa foi lida e marcada de acordo com a resposta imediata, garantindo que todas fossem respondidas. As opções de resposta seguiam a escala Likert (1932), da esquerda para a direita, de “Discordo totalmente” (1 ponto) a “Concordo totalmente” (5 pontos). Na versão totalmente positiva, não é necessário inverter pontuações. O resultado é calculado somando os valores, subtraindo 10 e multiplicando por 2,5, resultando em uma pontuação de 0 a 100, em que valores mais altos indicam melhor usabilidade (ver quadro 9 a seguir).

Quadro 9 - Escala SUS com somente afirmações positivas

Item		Discordo totalmente					Concordo totalmente				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Acho que gostaria de usar este sistema com frequência.	1	2	3	4	5					
2	Achei este sistema simples.	1	2	3	4	5					
3	Achei o sistema fácil de usar.	1	2	3	4	5					
4	Acho que poderia usar este sistema sem o suporte de uma pessoa técnica.	1	2	3	4	5					
5	Achei que as várias funções deste sistema estavam bem integradas.	1	2	3	4	5					
6	Achei que havia muita consistência neste sistema.	1	2	3	4	5					
7	Imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema muito rapidamente	1	2	3	4	5					
8	Achei o sistema muito intuitivo.	1	2	3	4	5					
9	Senti-me muito confiante ao usar o sistema.	1	2	3	4	5					
10	Eu poderia usar o sistema sem precisar aprender nada novo.	1	2	3	4	5					

Fonte: Adaptado de TestScience (2025).

Resultados da escala SUS abaixo de 68 indicam baixa usabilidade, enquanto valores acima apontam para boa usabilidade, devendo ser interpretados considerando o sistema, o perfil dos usuários e as tarefas realizadas (TestScience, 2025; YourCX, 2024). Segundo Sauro (2011), o contexto é fundamental para dar sentido aos dados, respostas ou resultados. Knight (2017, não paginado, tradução nossa) ressalta que “parte de contextualizar os dados é escolher com o que compará-los”.

No caso deste estudo, o tempo do inventário tradicional serviu como referência para avaliar o sistema com sensores BLE, aplicando a mesma lógica à escala SUS. Conforme Sauro (2018), medidas como a SUS ganham significado quando comparadas a um referencial. Para isso, utilizou-se a correlação entre classificações adjetivas, pontuações de aceitabilidade e escalas escolares (Bangor, Kortum & Miller, 2009) em relação ao *score* de 77,5 obtido para o sistema BLE (ver quadro 10 a seguir).

Adotou-se ainda o modelo de Promotores e Detratores (Sauro, 2018a) para complementar a avaliação da experiência do usuário. Promotores representam usuários altamente satisfeitos e propensos a recomendar o sistema, enquanto detratores representam usuários insatisfeitos que não o recomendariam (Alonso, 2024; D’Avila *et al.*, 2024). Com o *score* de 77,5, a interpretação segue uma abordagem integrada em quatro categorias, oferecendo uma análise mais completa da experiência do usuário.

Quadro 10 - Escala SUS com somente afirmações positivas e teste aplicado

Item		Discordo totalmente					Concordo totalmente				
1	Acho que gostaria de usar este sistema com frequência.	1	2	3	4	5					
2	Achei este sistema simples.				4	5	1	2	3		
3	Achei o sistema fácil de usar.				4	5	1	2	3		
4	Acho que poderia usar este sistema sem o suporte de uma pessoa técnica.			3	4	5	1	2			
5	Achei que as várias funções deste sistema estavam bem integradas.				4	5	1	2	3		
6	Achei que havia muita consistência neste sistema.				4	5	1	2	3		
7	Imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema muito rapidamente				4	5	1	2	3		
8	Achei o sistema muito intuitivo.				4	5	1	2	3		
9	Senti-me muito confiante ao usar o sistema.				4	5	1	2	3		
10	Eu poderia usar o sistema sem precisar aprender nada novo.		2	3	4	5	1				

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O *score* SUS de 77,5 obtido para o sistema de *smart* inventário pode ser interpretado sob duas perspectivas complementares. Na escala adaptada de notas escolares, variando de A (desempenho superior) a F (desempenho insatisfatório), o valor corresponde à nota C, indicando usabilidade de desempenho mediano (Bangor; Kortum; Miller, 2009; Sauro, 2018). Pelo modelo de Promotores e Detratores, utilizado em avaliações como o *Net Promoter Score* (NPS), o resultado situa-se na faixa de promotores, ou seja, usuários relativamente satisfeitos e propensos a recomendar o sistema, oferecendo uma visão integrada e mais completa da experiência do usuário (Sauro, 2018; Alonso, 2024; D'Avila *et al.*, 2024).

A segunda forma de interpretação do *score* SUS utiliza uma escala de adjetivos, ou Rótulos Intuitivos para pontuações SUS (Bangor; Kortum; Miller, 2009), que facilita a compreensão das pontuações individuais. Essa abordagem atribui categorias como "ruim", "médio" ou "excelente", tornando os resultados acessíveis não apenas a especialistas, mas também a profissionais leigos em fatores humanos. Com um *score* de 77,5, o desempenho do *smart* inventário se enquadra na categoria "Excelente", correspondente à faixa de 72,76 a 85,58, indicando uma usabilidade muito boa, embora ainda passível de melhorias (Bangor; Kortum; Miller, 2009; Sauro, 2018). Os rótulos intuitivos para as pontuações da SUS, que variam de 'Pior imaginável' a 'Melhor imaginável', são apresentados na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Rótulos intuitivos para as pontuações do SUS

Faixa de Pontuação do SUS	Adjetivo
85.59 – 100.00	Melhor imaginável
72.76 – 85.58	Excelente
52.02 – 72.75	Bom
39.18 – 52.01	OK
25.01 – 39.17	Ruim
0.00 – 25.00	Pior imaginável

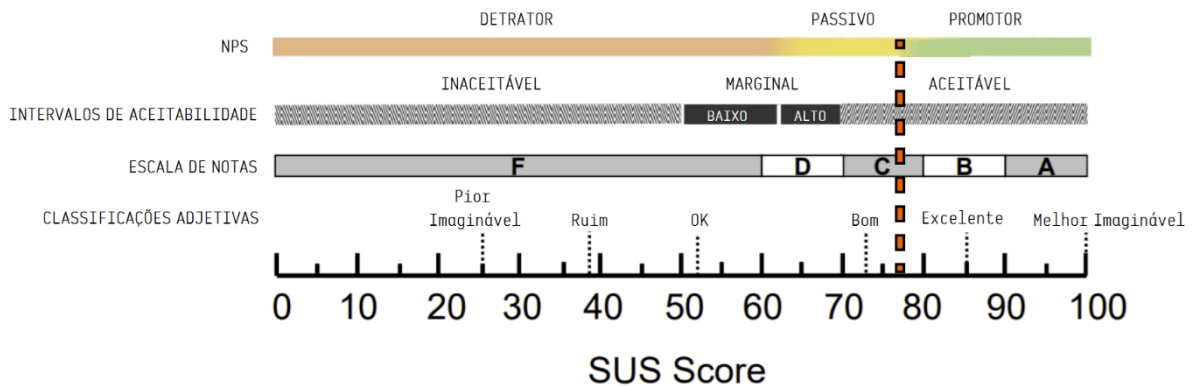
Fonte: Adaptado de TestScience (2025).

A terceira categoria considera a aceitabilidade do sistema, dividindo as pontuações em "aceitável" (>70), "marginalmente aceitável" (50-70) e "não aceitável" (<50) (Bangor; Kortum; Miller, 2009). A faixa marginal é subdividida em "*marginal low*" e "*marginal high*", refletindo desempenho próximo aos limites inferior e superior, respectivamente. O *score* de 77,5 se enquadra na categoria "aceitável", próximo do "*marginal high*", indicando desempenho satisfatório, mas ainda abaixo do nível de excelência.

A quarta categoria de interpretação do *score* SUS considera a relação com o *Net Promoter Score* (NPS), uma métrica que avalia a probabilidade de recomendação de um produto ou serviço. Estudos indicam que o SUS explica, em média, entre 30% e 50% da variação na probabilidade de recomendação dos usuários (Sauro, 2018). O NPS classifica os usuários em três grupos: promotores (pontuação 9-10), passivos (7-8) e detratores (0-6). Promotores refletem alta satisfação e maior propensão a recomendar o sistema, passivos possuem atitude neutra e detratores tendem a desencorajar o uso devido à insatisfação.

Na figura 16 a seguir, são combinados visualmente notas escolares, adjetivos, níveis de aceitabilidade e categorias NPS, possibilitando a interpretação rápida e clara do *score* de 77,5 do smart inventário, em conformidade com os princípios de apresentação de dados de Tufte (2015).

Figura 16 – Abordagem integrada de avaliação da experiência do usuário: adjetivos, notas, aceitabilidade e categorias de NPS associadas às pontuações brutas do SUS.



Fonte: Elaborado pela autora (2025), baseado em Bangor, Kortum e Miller (2009) e Sauro (2018).

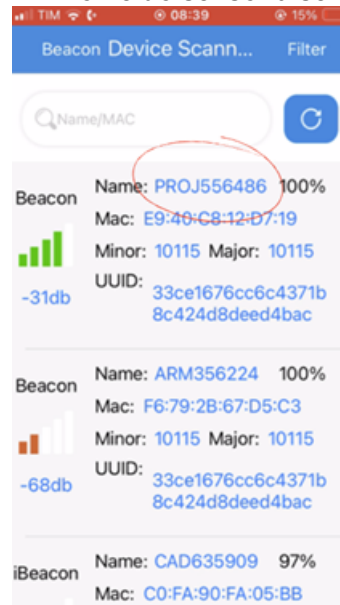
No caso do sistema de *smart* inventário, o *score* de 77,5 indica alinhamento com o grupo de promotores, sugerindo desempenho satisfatório e adequado à recomendação. Embora a pontuação seja favorável, ainda há margem para melhorias que poderiam elevar o sistema à faixa de excelência e aumentar o número de usuários promotores. Assim, a avaliação geral da usabilidade, realizada por meio do SUS, apontou que o sistema apresenta desempenho positivo e funcional, atendendo adequadamente às necessidades do usuário. Apesar de não atingir a excelência, o resultado demonstra que o sistema é eficiente, fácil de usar e com baixo índice de frustração ou complexidade, evidenciando que a experiência geral é satisfatória mesmo com espaço para aprimoramentos.

3.5.5 Aplicação do *Percurso Cognitivo*

O percurso cognitivo (mPC) é uma técnica de avaliação de *interfaces* voltada à aprendizagem exploratória do usuário, permitindo identificar problemas de usabilidade sem treinamento formal (Rieman, Franzke; Redmiles, 1995; Ontañón, 2024). A técnica envolve criar e percorrer cenários de uso, registrar dificuldades e propor melhorias (Lavery; Cockton, 1997), podendo ser aplicada individualmente ou em grupo. Neste estudo, utilizou-se uma versão simplificada até a etapa de identificação de problemas, simulando a experiência de uma usuária iniciante no aplicativo Holyiot-beacon. A tarefa escolhida foi a alteração do nome de um sensor iBeacon, refletindo a necessidade de atualização do inventário de bens patrimoniais

públicos. Os sensores da PoC foram inicialmente instalados na sala H104 e depois remanejados para a SEGEA, com ajustes nos identificadores para adaptação ao novo contexto, permitindo avaliar a usabilidade do sistema. Para a tarefa, a autora utilizou o aplicativo do *smart* inventário para renomear o *beacon*. O procedimento consistiu em localizar o sensor desejado na *interface*, acessar suas configurações, editar o campo de 'nome', conforme destacado na figura 17, e salvar a nova identificação, concluindo o teste.

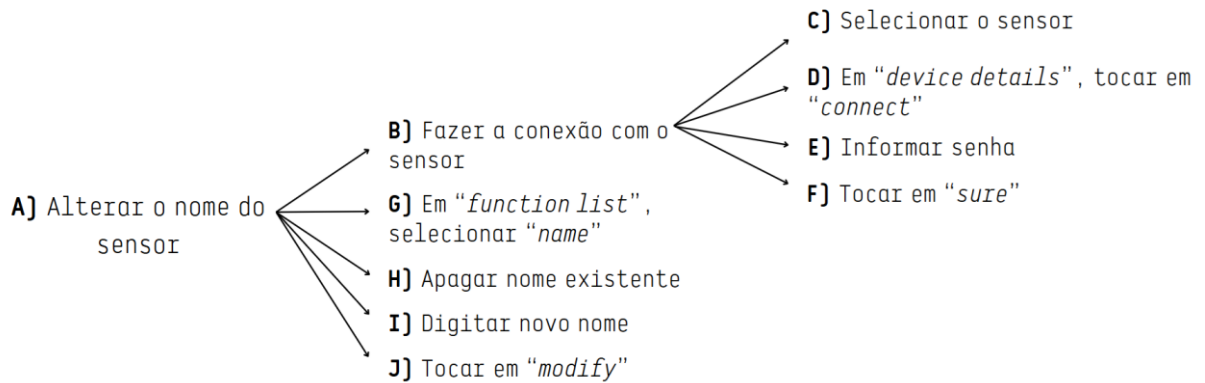
Figura 17 – Nome do sensor a ser alterado



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A tarefa possui um objetivo principal (A) e cinco subobjetivos específicos (B, G, H, I e J). Para alterar o nome do sensor, a autora deve atingir primeiro quatro subobjetivos derivados de B (C, D, E e F), conforme esquematizado na figura 18 a seguir. Exceto por B, todos os demais subobjetivos são simples e não se subdividem.

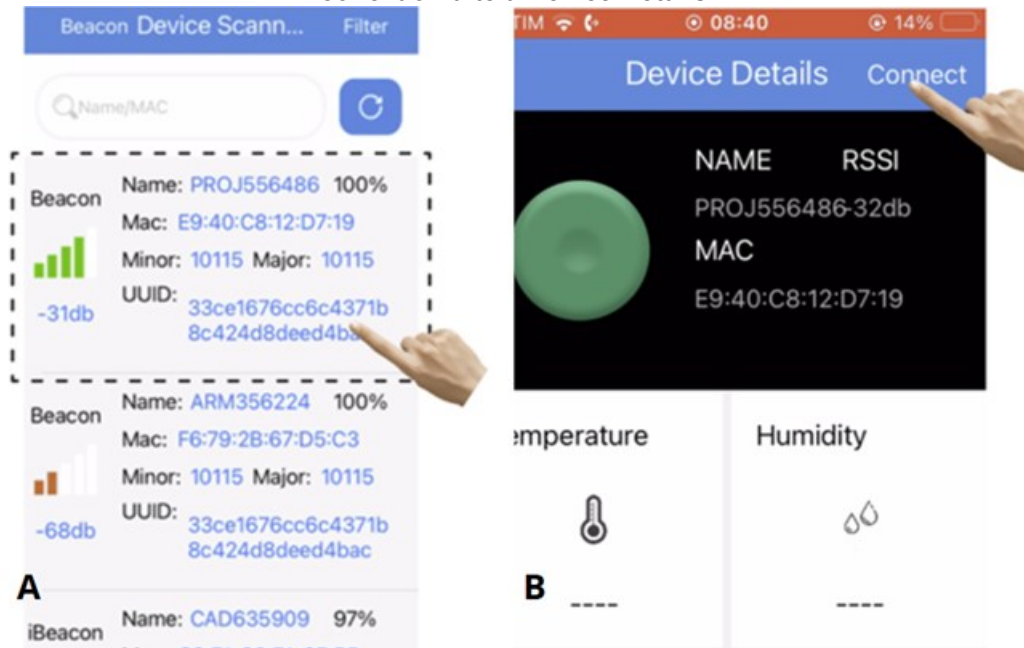
Figura 18 - Objetivo e subobjetivos para alterar o nome do sensor



Fonte: Adaptado de Lavery e Cockton (1997).

No cenário descrito, o 'quem' é a autora, responsável por executar a alteração do nome do sensor, seguindo a hierarquia de objetivos e subobjetivos. O 'quê' é a própria alteração do nome do sensor, que envolve uma sequência de passos necessários para atingir o objetivo principal, utilizando iPhone, sensor iBeacon e aplicativo BLE. O 'porque' da tarefa é garantir a correta identificação e gestão dos sensores, promovendo maior eficiência e precisão no inventário patrimonial, conforme os objetivos da prova de conceito. O 'como' envolve acessar o aplicativo no iPhone, selecionar o sensor iBeacon, alterar seu nome e salvar a modificação, assegurando o registro correto do novo nome. Supondo que a autora já abriu o aplicativo e chegou à tela inicial, ela deve tocar no sensor desejado (ver figura 19 A). Em seguida, o sistema redireciona para a tela '*Device Details*', onde será necessário tocar em '*Connect*' (ver figura 19 B a seguir).

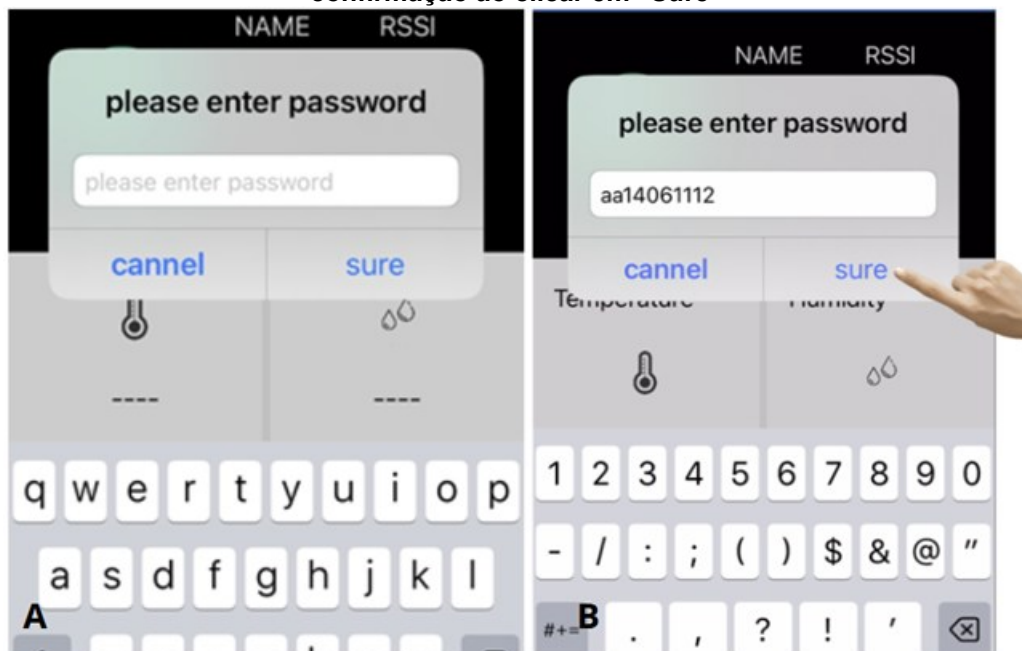
Figura 19 - Percurso de acesso ao sensor para alteração de nome: (a) seleção do sensor (b) conexão na tela Device Details



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O sistema exibirá a caixa de inserção de senha (ver figura 20 A abaixo). A autora digitará a senha no campo correspondente e confirmará a operação clicando em 'Sure' (ver figura 20 B a seguir).

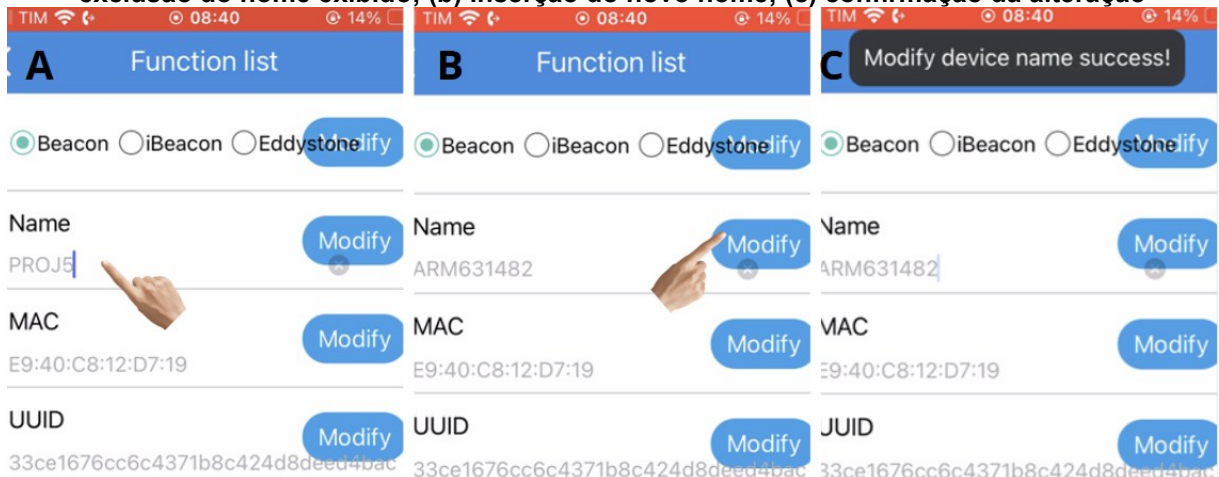
Figura 20 - Percurso de autenticação: (a) exibição da caixa para inserção da senha (b) confirmação ao clicar em "Sure"



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Após a autenticação, o sistema exibirá a tela '*Function List*'. A autora tocará no campo '*Name*', apagará o nome existente, inserirá o novo e confirmará clicando em '*Modify*' (ver figura 21 A e B abaixo). O procedimento será concluído quando o sistema apresentar a mensagem de sucesso: '*Modify device name success*' (ver figura 21 C abaixo).

Figura 21 - Percurso de alteração do nome do sensor: (a) acesso à tela *Function List* e exclusão do nome exibido; (b) inserção do novo nome; (c) confirmação da alteração



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O próximo passo na aplicação do mPC consiste em responder, para cada subobjetivo (C, D, E, F, G, H e I), quatro perguntas específicas, conforme detalhado no quadro 11 a seguir.

Quadro 11 - Critérios de avaliação do percurso cognitivo aplicados a cada etapa do processo

P1	Os usuários entenderão que a etapa é necessária para atingir a meta?
P2	Os usuários verão o controle para executar a ação?
P3	Os usuários reconhecerão a ação como correta?
P4	Os usuários entenderão o feedback?

Fonte: Elaborado pela autora (2025), baseado em Velásquez (2018).

A análise das etapas do mPC para alteração do nome do sensor iBeacon mostra o seguinte:

- Subobjetivo C: a seleção do sensor é intuitiva, pois o usuário toca diretamente na área correspondente, com o nome do sensor claramente identificado. O *feedback* redireciona para a tela *'Device Details'*.
- Subobjetivo D: em *'Device Details'*, tocar em *'Connect'* é compreensível, mesmo para usuários com pouco inglês, devido à similaridade da palavra com *'conectar'*.
- Subobjetivo E: o *feedback* subsequente, *'Please, enter password'*, acompanhado do teclado e do cursor piscando, indica claramente que é necessário inserir a senha.
- Subobjetivo F: após digitar a senha, o toque em *'Sure'* valida a ação. Observa-se um erro de grafia no botão adjacente (*'Cannel'* em vez de *'Cancel'*), que pode confundir. Uma alternativa mais adequada seria *'Confirm'*. Com a senha correta, o sistema redireciona para a *'Function List'*.
- Subobjetivo G: para editar o campo *'Name'*, o usuário toca na área correspondente, apaga o nome existente e insere o novo valor, confirmando com *'Modify'*. O posicionamento do botão pode gerar confusão inicial, mas é funcional.
- Subobjetivo H: a exclusão do nome existente ocorre de forma intuitiva, do final para o início da palavra, seguindo padrões comuns de *interface*.
- Subobjetivo I: a inserção do novo nome é realizada do início para o final, garantindo fluidez e naturalidade na digitação.
- Subobjetivo J: a confirmação da alteração com *'Modify'* é clara, e o *feedback* *'Modify device name success'* indica sucesso. Apesar do inglês, a ação é compreensível, embora uma tradução para português pudesse aumentar a acessibilidade.

Os resultados apresentados no quadro 12 a seguir indicam que a alteração do nome do sensor iBeacon pode ser realizada por usuários iniciantes com relativa facilidade. Embora alguns termos em inglês possam representar barreiras, o processo se mostra intuitivo graças à estrutura lógica do aplicativo e ao *feedback* visual fornecido. O percurso completo da tarefa está registrado no vídeo “Alterando nome do sensor iBeacon® no aplicativo Holyiot-beacon” (Tavares, 2024).

Quadro 12 - Respostas para as perguntas do percurso cognitivo aplicadas às etapas da tarefa

PERCURSO COGNITIVO				
Etapa/Subobjetivo	P1	P2	P3	P4
C	sim	não	sim	sim
D	sim	sim	sim	sim
E	sim	sim	sim	sim
F	sim	sim	não	não
G	sim	sim	sim	sim
H	sim	sim	sim	sim
I	sim	sim	sim	sim
J	sim	sim	sim	sim

Fonte: Elaborado pela autora (2025), baseado em Velásquez (2018).

3.5.6 Análise Econômica: Retorno sobre Investimento (ROI)

Para avaliar a viabilidade econômica foi calculado o Retorno sobre Investimento (ROI) com base na economia de tempo obtida pela comissão inventariante com o uso dos sensores. Segundo Kousky *et al.* (2019), a “análise de retorno sobre investimento (ROI) é uma ferramenta tradicionalmente utilizada no setor privado para avaliar e comparar projetos e investimentos”. Para Pandian (2010), como no mundo comercial tudo é medido pelo retorno sobre investimento, o custo de uma nova tecnologia é comparado ao aumento de lucros. Assim, embora o retorno sobre investimento (ROI) seja tradicionalmente utilizado no setor privado para medir a eficiência de investimentos com base em lucros, seu conceito pode ser adaptado para o contexto da administração pública e da gestão patrimonial.

Na UTFPR, o benefício de um investimento em tecnologia, como sensores BLE na realização do inventário, não se traduz em lucro financeiro, mas em ganhos operacionais, como economia de tempo, redução de erros e esforço físico dos servidores integrantes da comissão inventariante. Assim, a análise de ROI pode ser utilizada para comparar os custos da implementação desses sensores com os benefícios obtidos, permitindo avaliar se o investimento é justificado, de forma semelhante ao que ocorre em bibliotecas e outras instituições de serviço, onde os recursos economizados ou os ganhos de eficiência podem ser “reinvestidos” na melhoria de processos internos, reforçando a relevância do investimento mesmo na ausência de retorno financeiro direto (Pandian, 2010).

O ROI (*Return on Investment*) mede o ganho ou a perda de um investimento em relação ao seu custo, sendo calculado como $(\text{Receita do Investimento} - \text{Custo do Investimento}) / \text{Custo do Investimento}$, e serve tanto para avaliar o sucesso de ações passadas quanto para simular cenários e verificar a viabilidade de novas ideias (Xavier; Bonizio, 2020). Para isto, utilizou-se a média da remuneração dos 27 servidores com base no mês de junho de 2025 (R\$ 11.866,67), como *proxy* para o custo-hora da mão de obra, ou seja, uma estimativa representativa que permite simplificar os cálculos sem precisar detalhar o salário de cada integrante individualmente. A estimativa foi aplicada ao período compreendido entre 10 de agosto e 10 de novembro de 2023, correspondente à atuação da comissão inventariante da qual a autora participou, sendo esta a última comissão em que esteve oficialmente envolvida até o momento. A prova de conceito demonstrou que o tempo necessário para identificar 12 bens reduziu-se de, aproximadamente 11 minutos no método tradicional, para cerca de 4 minutos e 40 segundos utilizando o sistema de sensores BLE, representando uma redução de 57,3%. Projetando esses resultados para um inventário de 10.000 bens, obteve-se uma economia total de cerca de 1.049,9 horas, o que corresponde a um ganho financeiro aproximado de R\$ 77.807, considerando o custo-hora médio da comissão (R\$ 74,17/h). O investimento inicial considerou o custo detalhado de cada bem, incluindo sensor, pilha e fita adesiva, conforme detalhado no quadro 13 a seguir:

Quadro 13 - Estimativa de custo unitário e custo total dos sensores

Item	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Subtotal detalhado (R\$)
Sensor BLE	1	106,54	Subtotal 45,09 + Frete 28,59 + Imposto de Importação 14,74 + ICMS 18,12
Pilha	1	3,66	Cartela com 5 unidades
Fita adesiva dupla face	1	0,24	2 cm por sensor (rolo com 2 m)
Custo unitário total	1	110,44	106,54 + 3,66 + 0,24
Investimento total (bens)	10.000	-	1.104.401,00

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Com base nesses valores, o ROI foi projetado para diferentes períodos de reaproveitamento dos sensores, simulando uma vida útil de 1, 5 e 10 anos, conforme apresentado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Retorno sobre Investimento (ROI) de 10.000 sensores BLE por vida útil

Vida útil dos sensores	Investimento total (R\$)	Ganho por inventário (R\$)	Ganho total acumulado (R\$)	Benefício líquido (Ganho - Investimento, R\$)	ROI (%)
1 ano	1.104.401,00	77.807,00	77.807,00	-1.026.594,00	-93,0
5 anos	1.104.401,00	77.807,00	389.036,00	-715.365,00	-64,8
10 anos	1.104.401,00	77.807,00	778.072,00	-326.329,00	-29,6

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A análise do retorno sobre investimento indica que, em um horizonte de 1 ano, o ROI é fortemente negativo (-93%), evidenciando que o investimento não se recupera em um único ciclo de inventário. Considerando um período de 5 anos, o ROI permanece negativo (-64,8%), mas a reutilização dos sensores ao longo de múltiplos inventários contribui para uma compensação parcial do investimento. Já em um horizonte de 10 anos, o ROI aproxima-se de -30%, sugerindo que a viabilidade econômica do investimento melhora significativamente caso os sensores mantenham sua funcionalidade ao longo desse período.

Vale destacar que esta análise considera apenas a economia de tempo da comissão. Custos adicionais, como manutenção dos sensores, reposição de pilhas ou fita adesiva, não foram incluídos e poderiam tornar o ROI efetivo ainda mais negativo, indicando que o investimento se pagaria menos do que o estimado. Esses resultados evidenciam que o ponto crítico para a viabilidade econômica é o reaproveitamento prolongado dos sensores; quanto maior o número de inventários realizados com os mesmos dispositivos, mais próximo do equilíbrio financeiro se torna o investimento.

Ampliando a análise de viabilidade econômica da tecnologia BLE, foi realizada uma simulação complementar considerando um inventário com 3.000 bens patrimoniais de maior relevância institucional; esse recorte foi escolhido por representar um cenário comum e estratégico, especialmente quando se trata de bens mais relevantes para o funcionamento administrativo, acadêmico e científico da instituição. Assim, mantendo-se os parâmetros da análise principal, o custo unitário por bem estimado em R\$ 110,44, totalizou-se um investimento de R\$ 331.320,00. A economia de tempo foi projetada proporcionalmente, resultando em uma redução de aproximadamente 314,97 horas, o que equivale a um ganho financeiro de R\$ 23.342,10, com base no custo-hora médio da comissão inventariante (R\$ 74,17). A

tabela 2 abaixo apresenta os resultados do ROI para diferentes períodos de reaproveitamento dos 3.000 sensores:

Tabela 2 - Retorno sobre Investimento (ROI) de 3.000 sensores BLE por vida útil

Ano	Investimento total (R\$)	Ganho por inventário (R\$)	Ganho total acumulado (R\$)	Benefício líquido (Ganho - Investimento, R\$)	ROI (%)
1	331.320,00	23.342,10	77.807,00	-307.977,90	-93,0
5	331.320,00	116.710,50	389.036,00	-214.609,50	-64,8
10	331.320,00	233.421,00	778.072,00	-97.899,00	-29,6

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os resultados reforçam a tendência observada na análise de 10.000 bens: o retorno sobre investimento é negativo no curto prazo, mas melhora progressivamente com o reaproveitamento dos sensores ao longo dos anos. No cenário de cinco anos, observa-se uma compensação parcial, com recuperação de aproximadamente um terço do valor investido, representando uma recuperação de aproximadamente 35% do valor aplicado, reduzindo o prejuízo para R\$ 214.609,50 e resultando em um ROI de -64,8%. Embora o retorno financeiro ainda seja negativo, a redução do prejuízo em relação ao cenário de curto prazo evidencia que o reaproveitamento dos sensores ao longo do tempo contribui para a mitigação das perdas. Em outras palavras, o investimento começa a se justificar gradualmente, à medida que os ciclos de inventário se repetem e os sensores mantêm sua funcionalidade. Já em dez anos, o prejuízo é significativamente reduzido, aproximando-se de um ponto de equilíbrio. Essa análise complementar demonstra que, mesmo em contextos com menor volume de bens, a adoção de sensores BLE pode ser estrategicamente vantajosa, sobretudo quando aplicada a bens de maior importância operacional. A durabilidade dos sensores e a frequência dos ciclos de inventário continuam sendo variáveis decisivas para a sustentabilidade financeira da solução. O cálculo do ROI leva em conta a possibilidade de aquisição dos sensores em maior quantidade, o que pode reduzir os custos unitários e, conseqüentemente, ampliar a viabilidade econômica da implementação, em alinhamento com os princípios de eficiência e economicidade na administração pública.

Após a avaliação do ROI para o cenário de 3.000 bens, uma outra análise complementar foi realizada com uma projeção do ROI ao longo de quatorze anos, ou seja, até o ano em que o retorno sobre o investimento se mostra positivo. A análise incorporou três supostos reajustes salariais de 6%, aplicados nos anos 1, 5 e 9,

simulando a valorização da mão de obra ao longo do tempo. Como possível observar pela tabela 3 a seguir, mesmo com o aumento progressivo dos ganhos por inventário, impulsionado pelos reajustes salariais, o ROI permanece negativo durante os primeiros treze anos. Somente no 14º ano o investimento se torna financeiramente viável, com um ROI positivo de 5,5% e um benefício líquido de R\$ 61.272,38. Em mais uma simulação, agora com reajustes salariais de 9% aplicados nos anos 1, 5 e 9, o ROI se torna positivo já no ano 13, com um retorno de 0,7% e um benefício líquido de R\$ 8.278,02. Ou seja, o retorno financeiro chega um pouco mais cedo que no cenário com reajustes de 6%, mas ainda exige mais de uma década para se concretizar.

Tabela 3 - Projeção do ROI de 10.000 sensores BLE com três reajustes salariais de 6%

Ano	Investimento total (R\$)	Ganho por inventário (R\$)	Ganho total acumulado (R\$)	Benefício líquido (Ganho - Investimento, R\$)	ROI (%)
1	1.104.401,00	77.807,00	77.807,00	-1.026.594,00	-93,0
2	1.104.401,00	77.807,00	155.614,00	-948.787,00	-85,9
3	1.104.401,00	77.807,00	233.421,00	-870.980,00	-78,8
4	1.104.401,00	77.807,00	311.228,00	-793.173,00	-71,8
5	1.104.401,00	82.475,42	393.703,42	-710.697,58	-64,4
6	1.104.401,00	82.475,42	476.178,84	-628.222,16	-56,9
7	1.104.401,00	82.475,42	558.654,26	-545.746,74	-49,4
8	1.104.401,00	82.475,42	641.129,68	-463.271,32	-42,0
9	1.104.401,00	87.423,95	728.553,63	-375.847,37	-34,0
10	1.104.401,00	87.423,95	815.977,58	-288.423,42	-26,1
11	1.104.401,00	87.423,95	903.401,53	-200.999,47	-18,2
12	1.104.401,00	87.423,95	990.825,48	-113.575,52	-10,3
13	1.104.401,00	87.423,95	1.078.249,43	-26.151,57	-2,4
14	1.104.401,00	87.423,95	1.165.673,38	61.272,38	5,5

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Esses resultados reforçam que, mesmo com valorização salarial ao longo do tempo, a automação com 10.000 sensores BLE exige uma visão de longo prazo para se tornar financeiramente viável. Essas projeções contribuem para uma compreensão realista da aplicabilidade dos sensores no contexto do inventário patrimonial, oferecendo subsídios para decisões estratégicas sobre investimentos em automação e modernização da gestão de bens públicos.

Em uma análise comparativa do retorno sobre investimento (ROI) entre sensores os BLE e as etiquetas tradicionais, aplicada ao universo dos 10.000 bens (vide tabela 4 abaixo), observou-se que, embora os sensores apresentem ganhos expressivos na redução do tempo de inventário, estimado em 1.049,9 horas com base na PoC, o custo unitário de R\$ 110,44 resulta em um investimento total de R\$

1.104.401. Considerando o valor médio de R\$ 74,17 por hora da comissão inventariante, o ROI calculado para essa solução é negativo, atingindo -92,96%. Em contraposição, o uso de etiquetas tradicionais, com custo total de apenas R\$ 490,00⁹, gera um ROI significativamente positivo de 15.779%, evidenciando, no contexto analisado, a superior viabilidade econômica do método convencional.

Tabela 4 - Comparativo do ROI entre sensores BLE e etiquetas tradicionais para 10.000 bens

Item	Sensores BLE	Etiquetas tradicionais
Número de bens inventariados	10.000	10.000
Economia de tempo projetada (h)	1.049,9	1.049,9
Custo-hora médio da comissão (R\$)	R\$ 74,17	R\$ 74,17
Ganho financeiro estimado (R\$)	R\$ 77.807,00	R\$ 77.807,00
Custo do investimento (R\$)	R\$ 1.065.400,00	R\$ 490,00
ROI (%)	-92,65%	15.779%

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Dessa forma, o cálculo evidencia que, sob a perspectiva estritamente financeira, o investimento em sensores BLE não se mostra justificável, enquanto o uso tradicional de etiquetas representa uma alternativa altamente eficiente em termos de retorno sobre o investimento. No entanto, os sensores BLE ainda podem oferecer vantagens em termos de usabilidade, inovação e redução de esforço físico e agilidade na realização do processo, fatores que devem ser considerados em análises futuras.

⁹ Valor calculado a partir da cotação de preços para etiquetas e ribbon: Item 3 da página 6 do DOC Nº 5184202 do processo SEI UTFPR 23064.043818/2025-34: “474912 - Etiqueta Adesiva Material: Poliéste , Cor: Cinz , Largura: 50 MM, Comprimento: 21 MM, Formato: Retangular, Aplicação: Impressora Zebra Tlp 2844 , Tipo: Adesiva , Características Adicionais: Com 1 Coluna - Rolo 1000 Unidades” a R\$49,00 cada.

4 SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa foi conduzida no contexto prático de uma instituição pública de ensino, com o objetivo de explorar o uso de sensores BLE no processo de inventário patrimonial, à luz dos princípios da eficiência, da economicidade e da usabilidade.

A realização da prova de conceito, mesmo em escala limitada, permitiu gerar evidências que dialogam criticamente com os temas abordados na literatura, como a modernização da gestão pública, a inovação orientada ao contexto e os desafios da adoção tecnológica em ambientes institucionais. A análise dos dados produzidos demonstrou que, embora a solução proposta não se tenha mostrado economicamente viável no contexto da instituição analisada, ela contribuiu para ampliar a compreensão sobre as possibilidades, e os limites, do uso de tecnologias na administração pública.

Ao incorporar esses referenciais à análise de eficiência, economicidade e usabilidade, a pesquisa contribui para ampliar o repertório teórico-prático disponível sobre inovação em processos administrativos.

Os resultados obtidos demonstram alinhamento com os objetivos definidos e com os referenciais teóricos adotados, reforçando a pertinência da solução no âmbito administrativo investigado. A pesquisa indica que a introdução de tecnologias pode favorecer a modernização dos processos de inventário, embora sua implementação em larga escala ainda demande ajustes operacionais.

A experiência evidenciou que a tecnologia BLE é passível de integração ao processo de inventário, gerando impactos positivos em termos de usabilidade e redução do esforço físico dos servidores e retrabalho. Contudo, ao revelar a inviabilidade econômica da solução no cenário estudado, o trabalho também expôs as tensões existentes entre inovação tecnológica e as limitações institucionais.

4.1 Síntese dos resultados

A prova de conceito com o sistema de inventário baseado em sensores BLE forneceu evidências consistentes sobre seu potencial para melhorar o processo de inventário patrimonial. A cronometragem indicou redução de 57,3% no tempo necessário para identificação dos bens, evidenciando ganhos expressivos em eficiência. As escalas NASA-TLX e ARWES apontaram diminuição significativa da carga de trabalho percebida, tanto física quanto mental, proporcionada pela automação dos sensores.

Quanto à usabilidade, os testes sugerem que o sistema é funcional, intuitivo e bem aceito, embora haja espaço para melhorias na velocidade, clareza das funcionalidades e orientações ao usuário. A avaliação pela escala SUS (pontuação de 77,5) reforça a percepção positiva quanto à facilidade de uso. O teste cognitivo indica que tarefas específicas, como a alteração do nome de um sensor, podem ser realizadas com facilidade por usuários iniciantes, apesar de termos em inglês e alguns aspectos de *design* demandarem ajustes.

Em conjunto, os resultados indicam que a tecnologia BLE favorece a eficiência, a redução do esforço físico e a melhoria da experiência do usuário no inventário patrimonial. Entretanto, os achados evidenciam limitações importantes, sobretudo em relação à viabilidade econômica e à necessidade de validação em contextos operacionais mais amplos.

O Retorno sobre Investimento (ROI) foi calculado considerando a economia de tempo da comissão inventariante em comparação com os custos de aquisição de sensores, pilhas e fita adesiva para 10.000 bens. No horizonte de um único inventário, o ROI foi de aproximadamente -93%, evidenciando que o investimento não se recupera em um ciclo anual. Quando projetada a reutilização dos sensores em cinco inventários, o ROI melhora para -64,8%, e em dez inventários aproxima-se de -29,6%, indicando que a viabilidade econômica depende diretamente do reaproveitamento prolongado dos dispositivos: quanto maior o número de ciclos realizados com os mesmos sensores, mais próximo do equilíbrio financeiro se encontra o investimento.

Além da análise baseada na quantidade de inventários, foi realizada uma projeção complementar considerando a valorização da mão de obra ao longo do tempo. Foram simulados três reajustes salariais, de 6% e de 9%, aplicados nos anos 1, 5 e 9, de modo a refletir tendências de valorização salarial. No cenário de 6%, o ROI permanece negativo durante os primeiros treze anos, tornando-se positivo apenas no 14º ano, com retorno de 5,5% e benefício líquido de R\$ 61.272,38. No cenário de 9%, o retorno torna-se positivo no 13º ano, embora mais modesto (0,7%), alcançando 5,5% no ano seguinte. Esses resultados indicam que, mesmo considerando aumentos salariais ao longo do tempo, que aumentam a economia gerada pela automação, o retorno financeiro só se materializa a longo prazo. Para que a solução seja economicamente viável, não basta reutilizar os sensores; é igualmente importante adotar estratégias complementares, como reduzir o custo unitário de cada

sensor, adquirir em maior quantidade e priorizar bens que gerem maior impacto no trabalho da comissão inventariante.

4.2 Validação da PoC

A validação da prova de conceito realizada nesta pesquisa teve como objetivo principal testar, em ambiente controlado, a viabilidade técnica e funcional do sistema de sensores BLE para a realização do inventário patrimonial de bens públicos.

Os resultados indicam que a tecnologia pode promover ganhos relevantes em eficiência operacional, destacando-se a redução do tempo necessário para identificar os bens e a melhoria na usabilidade do processo. A integração entre sensores BLE, *smartphone* e aplicativo mostrou-se funcional e promissora, potencialmente contribuindo para um inventário mais ágil e menos oneroso em termos de esforço físico e cognitivo.

A experiência prática demonstra que, do ponto de vista técnico, a solução atende aos requisitos operacionais esperados, validando sua aplicabilidade em contextos institucionais com rotinas semelhantes.

Entretanto, a análise econômica preliminar realizada como parte da validação revelou limitações quanto à viabilidade financeira da solução em larga escala. O investimento necessário para a aquisição dos sensores, embora parcialmente compensado pela economia de tempo e esforço, não apresenta equilíbrio no curto prazo. Além disso, questões relacionadas à durabilidade dos dispositivos indicam a necessidade de ajustes para tornar o modelo mais sustentável.

Dessa forma, a pesquisa cumpre seu propósito ao validar a funcionalidade da solução proposta, identificando seus benefícios operacionais e apontando os desafios econômicos; a tecnologia se mostra eficaz dentro dos limites da prova de conceito, mas sua aplicação prática em contextos institucionais exige ajustes que tornem o modelo mais sustentável, incluindo redução de custos unitários, ampliação da vida útil dos dispositivos e desenvolvimento de estratégias de operação e financiamento mais estruturadas, possivelmente com parcerias com fornecedores ou desenvolvedores.

4.3 Discussão

Esta discussão integra dimensões técnicas, teóricas, institucionais e humanas, interpretando os resultados em relação aos objetivos da pesquisa e aos

referenciais adotados. Também examina contribuições, limitações e desafios da aplicação tecnológica na gestão pública, considerando o contexto institucional e a experiência da autora. Esse enfoque possibilita avaliar a eficácia da solução e destacar elementos relevantes para futuras implementações e investigações voltadas à modernização administrativa.

4.3.1 *Potencial e limites da tecnologia Bluetooth Low Energy no inventário*

A prova de conceito permitiu evidenciar tanto o potencial quanto as limitações práticas do uso de sensores BLE no inventário patrimonial de uma instituição pública de ensino. Do ponto de vista operacional, os sensores demonstraram capacidade de reduzir de forma significativa o esforço físico associado à localização dos bens, representando um avanço em relação ao modelo tradicional. Contudo, verificações manuais continuam necessárias em situações de divergência entre registros e realidade observada, o que caracteriza o processo como híbrido: combinando recursos tecnológicos com a inspeção direta. A conferência *in loco* permanece indispensável para atestar a existência e as condições dos bens, garantindo a confiabilidade dos registros patrimoniais.

No campo da usabilidade, a experiência mostrou que a familiaridade do usuário com dispositivos móveis, como o *smartphone* utilizado na pesquisa, influencia diretamente o desempenho da solução. Isso reforça a necessidade de capacitação dos servidores e de *interfaces* mais simples, fatores decisivos para a adoção de tecnologias na administração pública.

Por fim, os resultados obtidos na análise do retorno sobre investimento (ROI) dos sensores BLE indicam que, no curto prazo, a aplicação da tecnologia não se mostra economicamente viável. Mesmo com a significativa economia de tempo observada nos processos de inventário, o investimento inicial permanece elevado e não se recupera em um único ciclo anual. No cenário de cinco anos, há uma *compensação parcial*, com recuperação de aproximadamente um terço do valor investido, mas ainda sem retorno financeiro positivo. Já em dez anos, o prejuízo é consideravelmente reduzido, aproximando-se de um ponto de equilíbrio. Esses dados sugerem que a sustentabilidade econômica da solução depende diretamente do reaproveitamento dos sensores ao longo do tempo e da escala de aplicação.

Essa constatação reforça a crítica de Mello (2013), ao apontar que o princípio da eficiência, embora previsto constitucionalmente, opera mais como uma aspiração

normativa do que como uma diretriz efetivamente concretizada nas práticas administrativas. Pontes Lima (2022) complementa essa visão ao destacar que leis são frequentemente aprovadas sem considerar a capacidade operacional das administrações públicas de cumpri-las, gerando um descompasso entre os órgãos de controle e a burocracia. Nesse contexto, a exigência de conformidade legal pode se tornar inviável quando não há estrutura técnica, financeira ou humana para implementar as determinações impostas.

A análise do ROI dos sensores BLE exemplifica esse dilema: embora a tecnologia esteja alinhada com os ideais de modernização e eficiência, sua adoção exige investimentos que muitas instituições públicas não estão preparadas para realizar, especialmente em curto prazo. O controle, conforme definido por Meirelles (2008) e Di Pietro (2004), deve ser exercido com atenção à realidade institucional, promovendo não apenas fiscalização, mas também correção e suporte à melhoria dos processos administrativos.

Portanto, a discussão sobre a viabilidade econômica da tecnologia BLE transcende os números e se insere em um debate mais amplo sobre a capacidade do Estado de implementar inovações de forma responsável, realista e contextualizada. A busca pela eficiência deve ser acompanhada de políticas públicas que considerem as limitações operacionais das instituições e promovam condições adequadas para que os princípios constitucionais se traduzam em práticas efetivas.

4.3.2 Contribuições teóricas e metodológicas

A construção da solução proposta nesta pesquisa foi orientada pela discussão entre os princípios da eficiência e da economicidade, considerados centrais para a gestão patrimonial no setor público. A eficiência guiou a busca por mecanismos capazes de reduzir o tempo de execução do inventário, aumentar a precisão da identificação dos bens e minimizar erros decorrentes do processo manual. Já a economicidade trouxe a preocupação com o custo da inovação, sua viabilidade em escala institucional e a sustentabilidade financeira da solução no longo prazo.

Esses dois princípios funcionaram como critérios complementares: enquanto a eficiência indicava o potencial da tecnologia para aprimorar procedimentos, a economicidade servia como parâmetro crítico para avaliar os limites da sua implementação. Dessa forma, a análise não se restringiu a aspectos técnicos, mas

integrou uma reflexão sobre a aplicabilidade prática da solução no contexto da administração pública.

No campo metodológico, a pesquisa-ação mostrou-se adequada por permitir que o desenvolvimento e a avaliação da solução fossem conduzidos simultaneamente à luz desses princípios. A flexibilidade da abordagem, em parte, qualitativa, possibilitou ajustes durante a coleta e interpretação dos dados, assegurando maior aderência às condições reais da instituição estudada. A experiência da autora como servidora integrante da comissão inventariante, ao mesmo tempo observadora e participante do processo, acrescentou uma dimensão prática à análise, permitindo identificar tanto os ganhos potenciais quanto os entraves que impactam a adoção de inovações tecnológicas em ambientes institucionais.

4.3.3 Aspectos institucionais e humanos

Durante o desenvolvimento da pesquisa, a experiência demonstrou que a introdução de tecnologias na administração pública envolve desafios que extrapolam as questões técnicas. Ainda que uma solução baseada em sensores BLE se mostre promissora do ponto de vista funcional, sua adoção depende também de fatores institucionais e humanos, que impactam diretamente sua viabilidade e continuidade. Nesse sentido, a experiência acumulada pelos servidores na execução do inventário, seu conhecimento dos procedimentos administrativos e sua disposição para adotar novas ferramentas tornam-se elementos determinantes para o sucesso de qualquer inovação.

No caso desta pesquisa, o fato de a própria autora integrar a comissão inventariante desde 2012 configurou um aspecto relevante. Essa vivência permitiu identificar dificuldades concretas, propor melhorias e avaliar de forma crítica em que medida a tecnologia se ajusta às rotinas e às necessidades da instituição. Além disso, constatou-se que a inovação tecnológica nem sempre se compatibiliza de imediato com os princípios constitucionais de eficiência e economicidade. Se, por um lado, a automação com sensores BLE sugere ganhos potenciais na racionalização do trabalho e na redução de erros, por outro, os custos associados e as limitações operacionais identificadas impõem restrições significativas à adoção em larga escala. Essa tensão entre inovação e diretrizes da administração pública reforça a necessidade de equilibrar o impulso por modernização com a responsabilidade fiscal e com as capacidades institucionais vigentes.

Ainda que a autora tenha sido a única participante da prova de conceito, essa condição possibilitou um envolvimento profundo e uma compreensão crítica do processo. A análise desenvolvida mostra que a introdução de novas tecnologias não deve ser compreendida apenas como uma atualização operacional, mas como um processo complexo que exige escuta, diálogo e consideração do contexto institucional.

De forma integrada, os três núcleos discutidos, quais sejam: os limites e potenciais da tecnologia BLE, as contribuições teóricas e metodológicas e os aspectos institucionais e humanos, evidenciam que os resultados da pesquisa vão além da análise da viabilidade técnica de uma solução específica. Ao articular teoria e prática em uma intervenção situada, a investigação contribui para o debate sobre como inovações tecnológicas podem, ou não, ser incorporadas à gestão patrimonial pública, em consonância com os princípios da eficiência e da economicidade e com a complexidade das rotinas administrativas.

Ainda que os achados apontem para limitações econômicas relevantes, eles também revelam caminhos de aprendizagem, reflexão crítica e aprimoramento de práticas, oferecendo subsídios para pesquisadores, gestores e demais interessados na modernização responsável e contextualizada da administração pública. Como destaca Flick (2009), a realidade estudada na pesquisa qualitativa não corresponde a uma verdade pronta e imutável, mas é construída pelas experiências e percepções dos participantes. Nesse caso, ao mesmo tempo em que testava os sensores BLE, a autora analisava suas possibilidades e limitações, o que permitiu captar detalhes muitas vezes ausentes em estudos mais distanciados ou baseados apenas em métricas numéricas. Essa abordagem contribuiu, portanto, para uma compreensão mais próxima da realidade e mais útil para refletir sobre a aplicação prática da tecnologia na gestão pública.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso de sensores *Bluetooth Low Energy* no inventário patrimonial de uma instituição pública federal de ensino, tomando como referência os princípios da eficiência e da economicidade. Para isso, foi realizada uma prova de conceito, a fim de verificar se essa tecnologia, já consolidada no campo da conectividade eficiente, poderia reduzir o tempo necessário para o inventário, minimizando o retrabalho e aliviando o esforço físico exigido dos servidores que integram a comissão inventariante.

Os resultados indicam que a solução proposta é funcional e permite melhor localização e identificação dos itens patrimoniais, contribuindo para tornar o processo mais ágil e menos propenso a falhas, em consonância com o princípio da eficiência. Entretanto, a análise de custos e o cálculo do Retorno sobre Investimento (ROI) revelaram que, nas condições observadas, a adoção plena dos sensores BLE se mostrou economicamente inviável. Embora a tecnologia tenha potencial para gerar ganhos qualitativos e operacionais, os valores investidos superam os benefícios econômicos diretos que poderiam ser obtidos em curto e médio prazo. Essa constatação evidencia que, apesar da eficiência observada, a solução não atende ao princípio da economicidade no cenário estudado.

Assim, a pesquisa demonstra que a introdução de inovações tecnológicas na gestão patrimonial pública deve ser analisada de forma equilibrada, ponderando tanto os ganhos funcionais quanto a sustentabilidade financeira. O uso do ROI como medida de avaliação se mostrou relevante para orientar decisões, pois possibilita identificar com maior clareza os limites da adoção de tecnologias em ambientes institucionais. Apesar das restrições econômicas, o estudo contribui para ampliar a reflexão sobre o uso de sensores BLE e sobre os caminhos de modernização da administração pública. Aponta, ainda, que a adoção de novas ferramentas demanda análises críticas sobre sua viabilidade, considerando não apenas sua eficácia técnica, mas também sua compatibilidade com os recursos disponíveis e com os princípios constitucionais que orientam a gestão pública.

No entanto, a pesquisa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Primeiramente, foi conduzida apenas por meio de uma prova de conceito, sem implementação em larga escala, o que restringe a generalização dos achados para outros contextos institucionais. Além disso, a participação única da

autora como usuária da solução limita a diversidade de percepções sobre usabilidade, desempenho e aceitação da tecnologia. O estudo também esteve circunscrito ao contexto específico da UTFPR Campus Campo Mourão, cujas rotinas e procedimentos administrativos influenciaram diretamente a experiência prática.

Do ponto de vista econômico, os sensores BLE mostraram viabilidade limitada no curto prazo, sendo a recuperação do investimento dependente do reaproveitamento dos equipamentos e da escala de aplicação. Aspectos humanos e operacionais, como familiaridade com dispositivos móveis, capacitação e experiência dos servidores, influenciaram a eficácia da solução, assim como restrições técnicas, incluindo a necessidade de conferência manual em situações de divergência entre registros e realidade observada.

A experiência revelou, ainda, um ponto crítico relacionado à segurança física dos dispositivos: após o término da produção dos dados, verificou-se que oito dos doze sensores apresentaram mau funcionamento e sinais de manipulação, sugerindo interferência externa. Esse episódio evidencia os riscos para a durabilidade de sistemas baseados em sensores BLE, sobretudo em ambientes de uso coletivo, mesmo quando a fixação dos dispositivos é adequada.

No contexto de crescente demanda por eficiência, transparência e inovação na administração pública, a pesquisa oferece uma reflexão crítica e prática sobre a adoção de tecnologias no inventário patrimonial. A articulação entre teoria, prática e experiência institucional do estudo contribui para a formulação de estratégias voltadas à modernização da gestão pública, de maneira consciente, realista e alinhada ao interesse público.

5.1 Sugestões e recomendações de trabalhos futuros

Trabalhos futuros poderiam explorar o uso de gateways ou hubs para viabilizar o monitoramento contínuo dos bens, conectando os sensores a um sistema de IoT e disponibilizando informações em tempo real sobre dados patrimoniais, movimentações e eventuais irregularidades. Outra possibilidade a ser investigada é o acoplamento de atuadores aos sensores, como sinais sonoros ou luminosos, de modo a simplificar a localização de itens durante o inventário e reduzir a necessidade de inspeção presencial.

Estudos voltados à durabilidade e à segurança dos sensores podem identificar fatores que afetam seu funcionamento, como desgaste, manipulação externa ou

remoção indevida, possibilitando o desenvolvimento de soluções de fixação e proteção mais robustas.

Sugere-se, ainda, que pesquisas futuras se concentrem no desenvolvimento e teste de métodos capazes de aprimorar a precisão da estimativa de posição (*accuracy*), ampliando a confiabilidade dos resultados e favorecendo a viabilização de inventários contínuos.

O ROI calculado na prova de conceito fornece uma estimativa inicial da viabilidade financeira da tecnologia. No entanto, avaliações econômicas adicionais, considerando modelos sustentáveis de implementação e escalabilidade, poderiam subsidiar um refinamento mais aprofundado dessa análise.

Por fim, um modelo de rastreabilidade integrada, com sensores incorporados já na fabricação dos bens, poderia permitir o acompanhamento completo, desde a aquisição até o descarte, fortalecendo a gestão patrimonial e promovendo maior padronização dos processos.

Além dessas sugestões, podem ser consideradas duas iniciativas complementares envolvendo estudantes da UTFPR. A primeira consiste em engajar alunos do curso de Engenharia Eletrônica no desenvolvimento de protótipos próprios baseados em chips BLE, adaptados às necessidades do inventário patrimonial, o que poderia reduzir os custos de aquisição e fomentar a aprendizagem prática e a inovação tecnológica. A segunda propõe que alunos de Ciência da Computação elaborassem um aplicativo para leitura e gerenciamento dos sensores, promovendo competências em programação e integração de sistemas móveis. Essas ações se alinham ao foco da pesquisa em eficiência, economicidade e usabilidade, podendo ser implementadas por meio de projetos de extensão, disciplinas práticas ou iniciação científica, fortalecendo uma cultura de inovação na instituição.

5.2 Créditos e informações legais

Neste estudo, são mencionadas tecnologias e ferramentas proprietárias associadas a marcas registradas, como iBeacon, iPhone, App Store, iOS, Apple, Google, Android, Eddystone e Bluetooth. Tais referências são utilizadas exclusivamente para descrição técnica e contextualização metodológica, sem qualquer intuito de promoção comercial ou vínculo institucional com as empresas detentoras das marcas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. A. S. DE. Sistema de fiscalização das contas públicas. *In*: CONTI, J. M.; MOUTINHO, D. V.; DO NASCIMENTO, L. M. (coord.). **Controle da Administração Pública no Brasil**. São Paulo: Blucher, 2022, cap. 3, p. 63-81. Disponível em: <https://irbcontas.org.br/wp-content/uploads/2022/08/control-da-administracao-publica.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.
- AFANEH, M. **What is a Beacon?** A Guide to Bluetooth Beacon Technology. NovelBits, 2022. Disponível em: <https://novelbits.io/what-is-a-beacon-guide-to-bluetooth-beacon-technology/>. Acesso em: 14 fev. 2025.
- ALONSO, R. **Net Promoter Score (NPS):** o que é, como aplicar e estudos de caso. Fia Business School, 2024. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/net-promoter-score-nps/>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- AMES, L. L.; GEORGE, E. J. **Revision and verification of a seven-point workload estimate scale**. Air Force Flight Test Center, 1993. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA269194.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- AUDITORIA INTERNA DO MINISTÉRIO PÚBLICO DA UNIÃO (AUDIN). **Parecer AUDIN-MPU nº 240/2021**. AUDIN, 2021. Disponível em: <https://auditoria.mpu.mp.br/orientacao/pareceres/docs/PAR-240-2021-PR-RJ-MPF-INVENTARIO.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- AYELLO, M.; LOPES, Y. Interoperability based on IEC 61850 standard: systematic literature review, certification method proposal, and case study, **Electric Power Systems Research**, v. 220, 109355, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779623002444>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- BANGOR, A.; KORTUM, P.; MILLER, J. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. **Journal of Usability Studies**, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 114-123, 2009. Disponível em: <https://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- BARAJAS-BUSTILLOS, M. A.; MALDONADO-MACÍAS, A. A.; SERRANO-ROSA, M. A.; HERNANDEZ-ARELLANO, J. L.; LLAMAS-ALONSO, L.; BALDERRAMA-ARMENDARIZ, O. Impact of experience on the sensitivity, acceptability, and intrusive of two subjective mental workload techniques: The NASA TLX and workload profile. **WORK**, [S.l.], v.75, n. 4, p. 1265-1275, 2023. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.3233/WOR-211324#body-ref-ref017>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- BEACONZONE. **Which Beacons Transmit a MAC Address?** BeaconZone, 2023. Disponível em: <https://www.beaconzone.co.uk/blog/which-beacons-transmit-a-mac-address/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

BEACONZONE. **Choosing UUID, Major, Minor and Eddystone-UID For Beacons.** BeaconZone, 2025. Disponível em: <https://www.beaconzone.co.uk/choosinguuidMajorMinor>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BENSKY, A. Technologies and applications. **Short-range Wireless Communication**, n. 3, p. 387-430, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128154052000142>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BERTOLETI, P. **Desenvolvendo um Beacon BLE com ESP32.** MakerHero, 2020. Disponível em: https://www.makerhero.com/blog/beacon-com-sp32/?srsltid=AfmBOoqF9RUHWt92q902e2vfBEqMs0Cf9sVBxnFYFWmNo667Irq9fOh_. Acesso em: 21 fev. 2024.

BINENBOJM, G. **Temas de Direito Administrativo e Constitucional.** Rio de Janeiro: Renovar, 2008, p. 346.

BITSCH, V. Qualitative research: a grounded theory example and evaluation criteria *In: Journal of Agribusiness*, [S.l.], v. 23, e. 1, n. 59612, 2005. Disponível em: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:ags:jloagb:59612>. Acesso em: 28 fev. 2025.

BLE. **iBeacon: everything you need to know.** BLE Mobile Apps, 2018. Disponível em: <https://www.blemobileapps.com/blog/ibeacon-everything-need-know/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BOYARKO, E. **What is a Proof of Concept (POC)?** How to write it with examples. Upsilon LLC, 2024. Disponível em: <https://www.upsilonit.com/blog/what-is-proof-of-concept-use-cases-steps-examples>. Acesso em: 3 mar. 2025.

BRAARUD, Ø. An efficient screening technique for acceptable mental workload based on the NASA Task Load Index-development and application to control room validation. **International Journal of Industrial Ergonomics**, [S.l.], v. 76, art. 102904, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814119302847>. Acesso em: 17 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Receita Federal implementa novas regras para as importações por e-commerce.** Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2024/julho/receita-federal-implementa-novas-regras-para-as-importacoes-por-e-commerce>. Acesso em: 27 fev. 2025.

BROOKE, J. SUS: a quick and dirty usability scale. *In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland IL (eds.) Usability evaluation in industry.* London: Taylor & Francis; 1996. p. 189-194.

BUGARIN, B. J. O sistema de fiscalização dos recursos públicos federais adotado no Brasil *In: Segundo Congresso Internacional de Auditoria Integrada, Revista do TCU*, n. 64, 1995. Disponível em:

<https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/download/632/692/1284>. Acesso em: 20 maio 2024.

BUGARIN, P. S. O princípio constitucional da eficiência: um enfoque doutrinário multidisciplinar. **Revista do TCU**, v. 32, n. 87, p. 39-50, 2001. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/919/984>. Acesso em: 11 ago. 2024.

BUGARIN, P. S. Economicidade e eficiência: breves notas. **Revista do Tribunal de Contas da União**, v. 35, n. 101, p. 15-17, 2004. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/632/692>. Acesso em: 10 set. 2024.

CÄSAR, M.; PAWELKE, T.; STEFFAN, J.; TERHORST, G. A survey on Bluetooth Low Energy security and privacy. **Computer Networks**, [S.l.], v. 205, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128621005697>. Acesso em: 1 mar. 2025.

CHANG, J-H. Secret power of the product ecosystem: A network perspective from the case of Apple. **Journal of Business Research**, v. 200, artigo n. 115641, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296325004643>). Acesso em: 26 ago. 2025.

CLARKE, A. C. **Profiles of the future**: an inquiry into the limits of the possible. 2 ed. New York: Harper & Row, 1973, 237 p.

CONSELHO NACIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO (CNMP). **Manual do Ordenador de Despesas**. Brasília: CNMP, 2014. Disponível em: https://www.cnmp.mp.br/portal/images/COMPLETO_Manual_do_Ordenador_WEB.pdf. Acesso em: 5 mar. 2025

CONSELHO NACIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO (CNMP). **Almoxarifado e patrimônio**. Brasília : CNMP, 2017. Disponível em: <https://www.cnmp.mp.br/portal/institucional/comissoes/comissao-de-controle-administrativo-e-financeiro/atuacao/manual-do-ordenador-de-despesas/gestao-de-recursos-fisicos/almoxarifado-e-patrimonio>. Acesso em: 5 mar. 2025.

DAVID, T. B. de. Eficiência, economicidade e direitos fundamentais: um diálogo necessário e possível. **Revista do Ministério Público do RS**, Porto Alegre, n. 67, p. 87-115, 2010. Disponível em: https://www.amprs.org.br/arquivos/revista_artigo/arquivo_1303929957.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

DEVELOPER. **Determining the proximity to an iBeacon device**: detect beacons and determine the relative distance to them. Apple Developer, 2025a. Disponível em: <https://developer.apple.com/documentation/corelocation/determining-the-proximity-to-an-ibeacon-device>. Acesso em: 21 fev. 2025.

DEVELOPER. Apple developer Bluetooth Low Energy search. Apple Developer, 2025b. Disponível em: <https://developer.apple.com/search/?q=bluetooth%20low%20energy>. Acesso em: 26 ago. 2025.

DI PIETRO, M. S. Z. **Direito Administrativo**. 17 ed. São Paulo: Atlas, 2004, 751 p.

ELA. **Unveil the power of Bluetooth in the IoT landscape**. Ela Innovation, 2024. Disponível em: <https://elainnovation.com/en/bluetooth-ebook/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ETIKAN, I.; BALA, K. Sampling and sampling methods. **Biometrics & Biostatistics International Journal**, [S.l.], v. 5, n. 6, p. 215-217, 2017. Disponível em: <https://medcraveonline.com/BBIJ/BBIJ-05-00149.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

FENILI, R. R. **Gestão de Materiais**. Brasília: ENAP, 2015. 168 p. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2268/1/Enap%20Did%C3%A1ticos%20-%20Gest%C3%A3o%20de%20Materiais.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FIDDLE, Z. **Increasing operational efficiency with technology**. Forbes Media LLC, 2023. Disponível em: <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2023/03/29/increasing-operational-efficiency-with-technology/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa, 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 405 p.

FREITAS, J. **O controle dos atos administrativos e os princípios fundamentais**. 3ª ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

FRUTUOSO, J.T.; CRUZ, R. M. Mensuração da carga de trabalho e sua relação com a saúde do trabalhador. **Rev. Bras. Med. Trab.**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 29-36, jan-jul. 2005. Disponível em: <https://www.rbmt.org.br/details/166/pt-BR/mensuracao-da-carga-de-trabalho-e-sua-relacao-com-a-saude-do-trabalhador>. Acesso em: 14 jan. 2025.

GABARDO, E. **Princípio da eficiência**. Enciclopédia jurídica da PUC-SP, 2022. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/82/edicao-2/principio-da-eficiencia>. Acesso em: 22 jan. 2025.

GALDINO, F. **Introdução à teoria dos custos dos direitos**: direitos não nascem em árvores. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005, p. 260.

GARCÍA-ORTIZ, J.C.; SILVESTRE-BLANES, J.; SEMPERE-PAYÁ, V. Aplicação experimental de Bluetooth Low Energy Connectionless em cidades inteligentes. **Electronics**, [S.l.], v.10, n. 22, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/22/2735>. Acesso em: 21 fev. 2025.

GHAEMIFAR, M.; MOTIE, S; MOOSAVIUN, S. M.; NEMATI, Y; EBADOLLAHI, S. Bluetooth Low Energy for indoor positioning: Challenges, algorithms and datasets.

Automation in Construction, v. 177, 106316, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580525003565>. Acesso em: 25 ago. 2025.

GORE, B. F.; KIM, R. H. **NASA TLX for iOS User Guide**. NASA Release Authority #TN38061, v. 1.0, 2017. Disponível em: https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/NASA_TLX_for_iOS_User_Guide_Final.pdf. Acesso em: 2 abr. 2025.

GRANSTRAND, O.; HOLGERSSON, M. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. **Technovation**, v. 90–91, artigo n. 102098, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497218303870>. Acesso em: 26 ago. 2025

GUIDELINES. **Works with Apple iBeacon Guidelines**. Apple, 2021. Disponível em: <https://developer.apple.com/ibeacon/>. Acesso em: 21 fev. 2025.

HART, S. G. NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later *In: Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. Sage Publications: Los Angeles, v. 50, n. 9, p. 904-908, out. 2006. Disponível em: https://humansystems.arc.nasa.gov/publications/HFES_2006_Paper.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.

HART, S. G.; STAVELAND, L. E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *In: HANCOCK, P. A.; MESHKATI, N. (Eds.). Human mental workload*, North-Holland, p. 139-183, 1988. Disponível em: https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/Hart_Staveland_ORIGINAL_1.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/IEC 25019:2023**: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability. Suíça: ISO, 2023. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/78177/7c8fe3ed9fdc4c06a8c9a14a8cdae2ec/ISO-IEC-25019-2023.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

JENSEN, R. Field study confirms the belief that keeping busy helps control room operators sustain alertness during the night shift. **Procedia Manufacturing**, [S.l.], v. 3, p. 1297-1304, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915002772>. Acesso em: 17 mar. 2025.

KETTL, D. F. **The global public management revolution**. 2. ed. Washington, DC: Brookings Institution Press, 2005.

KLEE, C. **What is a proof of concept (POC)**. Konfuzio, 2025. Disponível em: <https://konfuzio.com/en/poc-meaning/>. Acesso em: 1 mar. 2025.

KNIGHT, S. **You've got to see this**. TestRail, 2017. Disponível em: <https://www.testrail.com/blog/youve-got-to-see-this/>. Acesso em: 3 abr. 2025.

KOUSKY, C.; RITCHIE, L.; TIERNEY, K.; LINGLE, B. Return on investment analysis and its applicability to community disaster preparedness activities: Calculating costs and returns. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 41, artigo 101296, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420919300457>. Acesso em: 25 ago. 2025.

KOKSAL, N.; GHANNOUM, A.; MELEK, W.; NIEVA, P. Occupancy monitoring using BLE beacons: Intelligent Bluetooth Virtual Door System. **Sensors**, e. 25, n. 9, artigo 2638. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/9/2638>. Acesso em: 25 ago. 2025.

LAIRD. **iBeacon sample apps**. Laird Technologies, 2016. Disponível em: <https://connectivity-staging.s3.us-east-2.amazonaws.com/2023-10/Application%20Note%20-%20iBeacon%20Sample%20App.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2025.

LAVERY, D.; COCKTON, G. **Cognitive Walkthrough**: Usability evaluation materials. Department of Computing Science, University of Glasgow, 1997. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7f4631db0f54a99de300def2ed5481fbe815e0df>. Acesso em: 24 mar. 2025.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. New York: Archives of Psychology, 1932.

LORENC, A.; SZARATA, J.; CZUBA, M. Real-Time Location System (RTLs) based on the bluetooth technology for internal logistics. **Sustainability**, Suíça, v. 15, n. 6, artigo n. 4976, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/6/4976>. Acesso em: 2 set. 2024.

MACHADO, T. A.; CARNEIRO, R. A auditoria baseada em riscos no controle interno da administração pública brasileira: o caso da controladoria-geral do estado de Minas Gerais. **Revista do TCU**, Brasília, v. 153, n. 1, p. 84-110, jan./jul. 2024. Disponível em: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/2120>. Acesso em: 12 dez. 2024.

MAPSTED. **What you must know about bluetooth beacons before purchasing in 2025**. Mapsted, 2024. Disponível em: <https://mapsted.com/blog/what-you-must-know-about-bluetooth-beacons-before-purchasing>. Acesso em: 11 fev. 2025.

MARCOLINO, L. S. da S. Administração pública contemporânea: desafios e perspectivas para uma gestão eficiente. **Brazilian Journal of Business**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. e72687, 2024. DOI: 10.34140/bjbv6n3-028. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/72687>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MARRARA, T. Controle interno da administração pública: suas facetas e seus inimigos. In: MARRARA, T. e GONZÁLEZ, J. A. (coords.) **Controle da judicialização e administração de políticas públicas**. São Paulo: Almedina, 2016. 65 p.

MEIRELLES, H. L. **Direito Administrativo Brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2008.

MELLO, C. A. B. **Curso de Direito Administrativo**. São Paulo: Malheiros. 2013.

MONACO, I. R. Fiscalização administrativa, legislativa e judiciária. *In*: CONTI, J. M.; MOUTINHO, D. V.; DO NASCIMENTO, L. M. (coord.). **Controle da Administração Pública no Brasil**. São Paulo: Blucher, 2022, cap. 2, p. 49-62. Disponível em: <https://irbcontas.org.br/wp-content/uploads/2022/08/controle-da-administracao-publica.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

MULGAN, G.; ALBURY, D. **Innovation in the Public Sector**. United Kingdom Cabinet Office, 2003. Disponível em: <https://alnap.org/help-library/resources/innovation-in-the-public-sector/>. Acesso em: 22 jan. 2025.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). NASA TLX: Task Load Index. NASA, 2020. Disponível em: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ONTAÑÓN, M. **Cognitive Walkthrough**. The Decision Lab, 2024. Disponível em: <https://thedecisionlab.com/reference-guide/design/cognitive-walkthrough>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Fostering Innovation in the Public Sector**. OECD Publishing, 2017. Disponível em: <https://oecd-opsi.org/wp-content/uploads/2018/07/Fostering-Innovation-in-the-Public-Sector-254-pages.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação, 4. ed. Brasília: FINEP, 2018.

PANDIAN, M. P. **RFID for libraries: a practical guide**. East Yorkshire: Chandos Publishing, 2010.

PONTES LIMA, E. C. Controle da administração pública no Brasil. Prefácio. *In*: CONTI, J. M.; MOUTINHO, D. V.; DO NASCIMENTO, L. M. (coords.). **Controle da Administração Pública no Brasil**. São Paulo: Blucher, 2022. 270 p. Disponível em: <https://irbcontas.org.br/wp-content/uploads/2022/08/controle-da-administracao-publica.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PRIMER. **The Bluetooth® Beacon Primer**. SIG, 2022. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/beacon-smart-starter-kit/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

REIS, P. M. **A eficiência na Constituição**. Brasília: Correio Braziliense, Suplemento Direito & Justiça, fev. 2000, p. 5.

RESEARCH. **Everything you need to know about the NASA-TLX**. Research Collective, 2023. Disponível em: <https://research-collective.com/everything-you-need-to-know-about-the-nasa-tlx/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

REUBER, A. R.; TIPPMANN, E.; MONAGHAN, S. Global scaling as a logic of multinationalization. **Journal of International Business Studies**, [S.l.], v. 52, p. 1031-1046, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1057/s41267-021-00417-2>. Acesso em: 01 mar. 2025.

RIEMAN, J.; FRANZKE, M.; REDMILES, D. Usability evaluation with the cognitive walkthrough. *In: Conference Companion on Human Factors in Computing Systems* (CHI '95). Association for Computing Machinery, New York, 07 mai, 1995. p. 387-388. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/223355.223735>. Acesso em: 22 mar. 2025.

ROBERTS, J.D. **Why use an IBeacon?** Smartthings, 2023. Disponível em: <https://community.smartthings.com/t/faq-ibeacon-short-faq-2024-us-and-uk/275655>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ROCHA, A. C. O controle e o desenvolvimento da gestão orçamentária no Brasil. *In: PIRES, V; SATHLER, A. R. (orgs.) Gestão orçamentária inovadora: desafios e perspectivas no Brasil*. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, p. 174-218, 2018. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/553045/gestao_inovadora.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

RUAN, L.; ZHANG, L.; CHENG, F.; LONG, Y. The global optimal placement of ble beacon for localization based on indoor map. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci**, v. XLII-4, p. 529-534, 2018. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-4/529/2018/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia: elementos de metodologia do trabalho científico**. 13ª ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2014.

SAURO, J. **Measuring usability with the system usability scale (SUS)**. MeasuringU, 2011. Disponível em: <https://measuringu.com/sus/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SAURO, J.; LEWIS, J. R. When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive? *In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '11). Association for Computing Machinery, New York, 2011, p. 2215-2224. Disponível em: https://measuringu.com/papers/sauro_lewisCHI2011.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

SAURO, J. **5 ways to interpret a SUS score**. MeasuringU, 2018. Disponível em: <https://measuringu.com/interpret-sus-score/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SCLIAR, W. Controle externo brasileiro. Poder Legislativo e Tribunal de Contas. **Revista de informação legislativa**, Brasília, v. 46, n. 181, p. 249-275, jan./mar. 2009. Brasília. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/194906/000861771.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 21 jul. 2024.

SECCHI, L. Modelos organizacionais e reformas da Administração pública. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 347-369, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/ptr6WM63xtBVpfvK9SxJ4DM/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2025

SHERIF, A. **Market share of mobile operating systems worldwide from 2009 to 2025, by quarter**. Statista: Technology & Telecommunications. New York, jun. 2025. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C.; COHEN, M.; JACOBS, S.; ELMQVIST, N. **Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction** Londres: Pearson, e. 6, 2016. Disponível em: <http://www.cs.umd.edu/hcil/DTUI6>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SILICON. **Bluetooth BLE Beacon Standards from iBeacon, Eddystone, and AltBeacon**. Silicon Labs Community, 2014. Disponível em: https://community.silabs.com/s/share/a5U1M000000knwKUAQ/bluetooth-ble-beacon-standards-from-ibeacon-eddystone-and-altbeacon?language=en_US. Acesso em: 22 fev. 2025.

SILVA, K. S. DA; FONSECA, L. S. DA; CORREIA, P. R. M. Abordagem neurocognitiva de processos atencionais envolvidos na aprendizagem mediada por mapas conceituais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 247-268, mai./ago. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/9421>. Acesso em: 16 mar. 2025.

SIPPOLA, T. **Usability is a key element of User Experience**. Landis+Gyr., 2017. Disponível em: <https://eu.landisgyr.com/better-tech/usability-is-a-key-element-of-user-experience>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SOUZA, O. M. M. de. **Gestão de bens patrimoniais**. TCERJ, 2024. Disponível em: <https://www.tcerj.tc.br/portal-ecg-webapi/api/arquivos/50f0d865-44de-46b0-2878-08dcf1fcb428/download>. Acesso em: 12 abr. 2025.

SPECIAL INTEREST GROUP (SIG). **The Bluetooth® Low Energy Primer**. SIG, 2024. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/the-bluetooth-low-energy-primer/>. Acesso em: 11 maio 2024.

START. **Getting Started with iBeacon**. Apple Developer, 2014. Disponível em: <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

STATLER, S. **Beacon technologies: the hitchhiker's guide to the beacon system**. Apress, e. 1, 2016. Disponível em: <https://www.oreilly.com/library/view/beacon-technologies-the/9781484218891/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

TAVARES, R. C. **Alterando nome do sensor iBeacon® no aplicativo Holyiot-beacon**. YouTube, 14 jun. 2024. [Vídeo]. 1min52s. Disponível em: <https://youtu.be/z1K6gul3zG4>. Acesso em: 26 ago. 2025.

TAVARES, R. C. **Video tutorial da Holyiot®**. YouTube, 25 fev. 2025a. [Vídeo]. 0min32s. Disponível em: <https://youtube.com/shorts/Qprs3KNL52Y?feature=share>. Acesso em: 26 ago. 2025.

TAVARES, R. C. **Video holyiot beacon 20 julho 2024**. YouTube, 23 ago. 2025b. [Vídeo]. 1min48s. Disponível em: <https://youtube.com/shorts/CvxuvndTbpY>. Acesso em: 26 ago. 2025.

TESTSCIENCE. **Measuring Workload**. Test Science, 2025. Disponível em: <https://testscience.org/measuring-workload/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

THIEDE, S; SULLIVAN, B.; DAMGRAVE, R.; LUTTERS, E. Real-time locating systems (RTLS) in future factories: technology review, morphology and application potentials. **Procedia CIRP**, [S.l.], v. 104, páginas 671-676, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121010118>. Acesso em: 20 set. 2024.

TOHÁ, C.; SOLARI, R. A modernização do Estado e a gerência pública. **Revista do Serviço Público**, [S.l.], v. 48, n. 3, p. 84-103, 1997. DOI: 10.21874/rsp.v48i3.390. Disponível em: <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/390>. Acesso em: 22 abr. 2025.

VELÁSQUEZ, S. **Avaliação de uma interface de usuário usando walkthrough cognitivo** (caso real). Medium, 2018. Disponível em: <https://medium.com/@sosegon/evaluation-of-a-user-interface-using-cognitive-walkthrough-real-case-ac94014003d8>. Acesso em: 28 mar. 2025.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2016. 94 p.

XAVIER, B. R. F.; BONIZIO, R. C. Análise de sensibilidade do ROI: um estudo de caso para uma empresa de tecnologia da informação. **Revista Mineira de Contabilidade**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 43-54, 2020. DOI: 10.21714/2446-9114RMC2019v20n2t04. Disponível em: <https://revista.crcmg.org.br/rmc/article/view/860>. Acesso em: 23 ago. 2025.

YOUNG, D. G. **How to set iBeacon TX power byte**. Stack Overflow, 2022. Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/71054478/how-to-set-ibeacon-tx-power-byte>. Acesso em: 25 fev. 2025.

YOUNG, M. S.; STANTON, N. A. Mental workload. *In*: Stanton N.A.; Hedge A.; Brookhuis K.; Salas E.; Hendrick H.W. (eds.), **Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods**. Londres: Taylor & Francis, 2004, p. 374-382. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203489925-50/mental-workload-mark-young-neville-stanton>. Acesso em: 15 mar. 2025.

YOURCX. **System Usability Scale (SUS) in UX Research**: Measuring User Experience Effectively. YourCX, 2024. Disponível em: <https://yourcx.io/en/blog/2024/09/system-usability-scale-sus-in-ux-research-measuring-user-experience-effectively/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Florianópolis: SEaD/UFSC, 2006. 144 p. Disponível em:
http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/PP1_2007_1/Modulo_1/Metologia_da_pesquisa/Material_didatico/Metodologia_da_Pesquisa.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

ZEBRA. **O que é RTLS?** Zebra, 2025. Disponível em:
<https://www.zebra.com/gb/en/resource-library/faq/what-is-rtls.html>. Acesso em: 11 fev. 2025.

APÊNDICE A - 10 perguntas da escala SUS

10 PERGUNTAS DA ESCALA SUS (Original em inglês e traduzidas para português)

System Usability Scale

© Digital Equipment Corporation, 1986.

	Strongly disagree				Strongly agree
1. I think that I would like to use this system frequently	1	2	3	4	5
2. I found the system unnecessarily complex	1	2	3	4	5
3. I thought the system was easy to use	1	2	3	4	5
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	1	2	3	4	5
5. I found the various functions in this system were well integrated	1	2	3	4	5
6. I thought there was too much inconsistency in this system	1	2	3	4	5
7. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	1	2	3	4	5
8. I found the system very cumbersome to use	1	2	3	4	5
9. I felt very confident using the system	1	2	3	4	5
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	1	2	3	4	5

1. Eu acho que gostaria de usar esse sistema com frequência.
2. Eu acho o sistema desnecessariamente complexo.
3. Eu achei o sistema fácil de usar.
4. Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema.
5. Eu acho que as várias funções do sistema estão muito bem integradas.
6. Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.
7. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente.
8. Eu achei o sistema atrapalhado de usar.
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.
10. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema.

APÊNDICE B - Roteiro para avaliação de usabilidade

Roteiro para avaliação de usabilidade: baseado nas oito regras de ouro de design de interface de Shneiderman - aplicativo scanner BLE utilizado na prova de conceito

Objetivo do Teste: avaliar a facilidade de uso, eficiência e possíveis dificuldades encontradas pela operadora no aplicativo Holyiot-beacon, com foco na identificação de bens patrimoniais e na interação com a interface.

Preparação Inicial (5 minutos)

Objetivo: Refletir sobre a expectativa e familiaridade com o sistema.

- Antes de iniciar, pense sobre sua expectativa de uso.
- Pergunte a si mesma:
 - "O que espero realizar com o aplicativo?"*
 - "O que eu já conheço sobre a interface e como o sistema funciona?"*
- O sistema fornece alguma orientação inicial ou tutorial? (Regra 8 - Redução da carga de memória do usuário)

Tarefa 1: Navegação Inicial (3 minutos)

Objetivo: Avaliar a clareza e consistência da interface.

Instruções:

- Abrir o aplicativo e explorar a tela inicial.
- Pergunte a si mesma:
 - "Minha primeira impressão foi positiva? As informações estavam claras?"*
 - "Os menus e botões estão organizados de maneira consistente?"*
 (Regra 1 - Consistência)
- Navegar por diferentes seções e verificar se é possível localizar rapidamente funcionalidades importantes.

Reflexões:

- O design da interface facilitou a navegação?
- Houve alguma dificuldade para encontrar as funcionalidades?
- O sistema forneceu atalhos ou formas rápidas para executar ações? (Regra 2 - Atalhos para usuários experientes)

3. Tarefa 2: Identificação de Bens Patrimoniais (15 minutos)

Objetivo: Avaliar a interação com os sensores BLE e a precisão na identificação.

Instruções:

- Usar o aplicativo para localizar e identificar um bem patrimonial, ativando o sensor BLE.
- Observar se o aplicativo fornece feedback imediato após a identificação. (Regra 3 - Feedback informativo)
- Pergunte a si mesma:

"A identificação foi rápida e sem falhas? Como eu soube que o bem foi identificado corretamente?"

"Caso tenha ocorrido um erro, o sistema ofereceu informações claras sobre o problema?" (Regra: Tratamento adequado de erros)

- Verificar se os dados correspondem ao bem correto.

Reflexões:

- A resposta do sensor foi rápida e precisa?
- Foi fácil entender a informação fornecida pelo aplicativo?
- O sistema preveniu erros, como evitar a identificação errada de um bem? (Regra: Prevenção de erros)

4. Tarefa 3: Uso de Funcionalidades Avançadas (10-15 minutos)

Objetivo: Avaliar a facilidade de edição e adição de informações sobre os bens.

Instruções:

- Tente editar ou adicionar informações a um bem patrimonial.
- Pergunte a si mesma:
 - "Foi fácil acessar e usar essas funcionalidades?"*
 - "O sistema forneceu confirmação clara após a edição?"* (Regra 4 - Fechamento de ações)
 - "Caso tenha cometido um erro, foi possível desfazê-lo facilmente?"* (Regra: Controle do usuário / Permitir a fácil reversão de ações)

Reflexões:

- As funcionalidades são acessíveis e intuitivas?
- Como poderia ser melhorado o processo de edição ou adição de bens?

5. Tarefa 4: Teste de Eficiência (10 minutos)

Objetivo: Avaliar a velocidade do sistema na execução de tarefas repetitivas.

Instruções:

- Identificar 5 bens patrimoniais consecutivos e registrar o tempo necessário para cada tarefa.
- Pergunte a si mesma:
 - "Consegui ser eficiente? Houve dificuldades que atrasaram o processo?"*
 - "O sistema permite algum atalho para agilizar a identificação?"* (Regra: Atalhos para usuários experientes/ Mantenha os usuários no controle)

Reflexões:

- O aplicativo ajudou a aumentar minha eficiência?
- Alguma etapa do processo poderia ser mais ágil?

6. Análise Final e Feedback Pessoal (5-10 minutos)

Objetivo: Refletir sobre a experiência geral com o aplicativo.

Instruções:

- Reflita sobre as tarefas realizadas e pergunte a si mesma:
 - "O que mais gostei no aplicativo?"*
 - "O que mais me causou dificuldades?"*

"As mensagens de erro foram claras e úteis?" (Regra 6 - Tratamento adequado de erros)

"O sistema forneceu informações suficientes para que eu não precisasse memorizar processos?" (Regra: Redução da carga de memória do usuário)

7. Encerramento

- Reflita sobre o impacto do aplicativo na sua pesquisa. Ele ajudou a resolver os problemas de eficiência e economicidade no processo de inventário?
- Considere se há dimensões complementares que poderiam ser exploradas ou testadas para gerar novos elementos de análise sobre a experiência do usuário.

APÊNDICE C - Especificação e custos dos materiais utilizados na prova de conceito

Materiais	Preço em reais Fevereiro/Abril 2024	Preço em reais 27/02/2025	Foto
Holyiot nrf52810 ble beacon tag acelerômetro sensor com campainha bluetooth 5.0 módulo de consumo de baixa potência ibeacon/eddytone	preço unitário: 42,81 Pedido 2	preço unitário: 51,71	
Holyiot-tag ibeacon acelerômetro lis2dh12 sensor com botão, módulo de baixo consumo de energia, Bluetooth 5.0, nr52810	preço unitário: 44,35 Pedido 2	preço unitário: 49,19	
Holyiot NRF52810 Farol Bluetooth com Sensor Acelerômetro Módulo BLE 5.0 Eddystone Localização interna Modelo Ibeacon-A (verde com alça - 1 pc)	preço unitário: 53,12 Pedido 1	preço unitário: 70,99	
Nrf51822 bluetooth beacon tag eddytone ibeacon ble 4.2 módulos de automação de farol localizador de proximidade para navegação interna iot (cor preta c/ bateria - 2 pcs)	preço unitário: 27,79 Pedido 1	preço unitário: 32,39	
Nrf51822 bluetooth beacon tag eddytone ibeacon ble 4.2 módulos de automação de farol localizador de proximidade para navegação interna iot (cor verde c/ bateria - 2 pcs)	preço unitário: 27,79 Pedido 1	preço unitário: 63,29	
Nrf51822 bluetooth beacon tag eddytone ibeacon ble 4.2 módulos de automação de farol localizador de proximidade para navegação interna iot (cor branca c/ bateria - 2 pcs)	preço unitário: 27,79 Pedido 1	preço unitário: 32,39	
Bluetooth Beacon Tag Compatível com Beacon, Acelerômetro 3 eixos, Beacon Tag, NRF52810 modelo 21014-B (cor preta - 2 pcs)	preço unitário: 39,56 Pedido 1	preço unitário: 61,09	
Holyiot 21011 nRF52810 BLE Bluetooth 5.0 Módulo de baixa energia Beacon Posicionamento interno Módulos de automação Módulos de automação (cor branca redondo c/ alça - 5 pcs)	preço unitário: 37,20 Pedido 1	preço unitário: 43,19	
Duracell Bateria De Lítio CR 2032 Duracell Cartela Com 5 unidades	preço unitário: 46,50 09/04/2024 Amazon	preço unitário: 33,66 (promoção em 27/02/2025) Amazon	
Fita Dupla Face Scotch, 3M, Fixa Forte, Fixação Extrema, 24mm x 2m	preço unitário: 32,90 29/03/2024 Amazon	preço unitário: 28,89 (consulta em 27/02/2025) Amazon	
Pagamento Declaração de Importação de Remessa 1ª. NM176465355BR (pedido 1)	preço unitário: 29,61	não se aplica	não se aplica
Pagamento Declaração de Importação de Remessa 2ª. NM281080333BR (pedido 2)	preço unitário: 28,48	não se aplica	não se aplica
27/02/2024 - Pedido 1: 484,98 + frete 91,52 16/04/2024 - Pedido 2: 87,16 + frete 22,84			Total do pedido: R\$ 576,50 Total do pedido: R\$ 110,00
Simulação em 27/02/2025 - Pedido 1: 665,26 + frete 74,78 + impostos: 385,71 Simulação em 27/02/2025 - Pedido 2: 100,90 + frete 31,40 + impostos: 59,04			Total do pedido: R\$ 1.125,75 Total do pedido: R\$ 191,34