



DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO ELETRÔNICO PARA LEVANTAMENTO DE NÃO CONFORMIDADES EM AUTOESTRADAS

Leonardo Martins Wollinger¹, Joabel Moia²

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um produto destinado ao apontamento geográfico de não conformidades em autoestradas. A concessão de rodovias impõe às concessionárias diversos critérios de manutenção das condições de rodagem, dentre elas o estado do asfalto, a presença e visibilidade mínima dos limites de pista e sinalização de trânsito. O produto objeto deste trabalho é, na verdade, a evolução de outras duas versões anteriores, trazendo melhorias relacionadas à integração com o usuário e com o veículo, além de aumento no número de funções. O desenvolvimento deste projeto foi pautado nas experiências anteriores, expectativas e opiniões dos *stakeholders*, coletadas através do método de Kano. O resultado do projeto é um sistema conectado sem fios com um *smartphone*, integrado ao volante de forma que não altera as características do veículo, nem interfere na condução.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produto. Comunicação sem fios. Método de Kano.

Abstract: This article presents the development of a product for the geographic indication of non-compliances on highways. The concession of highways imposes on concessionaires several criteria for maintaining road conditions, including the minimum condition of the asphalt, the presence and minimum visibility of the lane limits and traffic signalling. The product object of this work is, in fact, the evolution of two other previous versions, bringing improvements related to the integration with the user and with the vehicle, in addition to an increase in the number of functions. The development of this project was based on previous experiences, expectations and opinions of stakeholders, collected through the Kano method. The result of the project is a wireless system connected to a smartphone, integrated into the steering wheel in a way that does not modify the vehicle's characteristics or impair driving.

Keywords: Distance Meter. Product development. Wireless communication. Kano method.

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <leonardo.wollinger@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (2020) – ABCR, o Brasil possui 15.616 km de rodovias sob concessão em todo o país, o que corresponde a 7% da malha rodoviária nacional pavimentada. Segundo o Departamento Nacional de Trânsito – DNIT somente 13% dos 1,7 milhões de km da malha rodoviária possui pavimentação, e uma pequena parcela dessa malha é passível de concessão. De fato, o modelo de concessões é uma tendência não só no Brasil, mas no mundo, por diversos motivos. No Brasil, parte do dinheiro arrecadado vai para os municípios, outra parte para limpeza, conservação, manutenção, expansão e modernização das rodovias, além é claro do lucro das concessionárias (SCHAUN, 2020).

O aparecimento desse nicho de atuação gera milhares de empregos de forma direta e indireta, já que promoveu o aparecimento de diversas empresas de prestação de serviço, sejam elas empreiteiras de mão de obra, locadoras de veículos de frota, empresas de gerenciamento de tráfego, automação de pedágios, fiscalização rodoviária e empresas dedicadas ao levantamento e gerenciamento de não conformidades em rodovias (SCHAUN, 2020).

1.1 Sistema de Identificação de Não Conformidades em Autoestradas

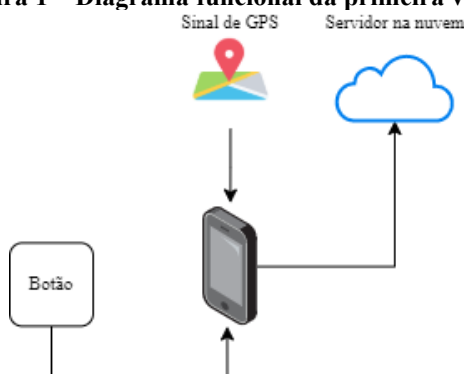
Ao vencer editais de concessão, as empresas passam a faturar sobre o tráfego das rodovias, mas dentre muitas exigências contratuais, devem manter as condições de rodagem dentro de padrões estabelecidos. O não cumprimento dessas condições implica em multas, suspensão da cobrança em pedágios e a suspensão contratual. As falhas encontradas chegam ao conhecimento do DNIT através de denúncia e fiscalização (SCHAUN, 2020).

Por ser uma grande área, e por ser um ambiente de grande circulação de pessoas, e ainda, cruzar as mais diversas regiões, muitos eventos acontecem diariamente, desde a morte de animais, furto de placas de trânsito, surgimento de patologias asfálticas (buracos, escamações, rachaduras etc.) nas faixas de rolagem. Portanto, é comum que as concessionárias empreguem algumas equipes para realizar o levantamento e classificação dos pontos em que são necessárias as atuações das equipes de manutenção.

A Kartado é uma empresa de tecnologia que surgiu em 2017 para desenvolver soluções tecnológicas em concessões rodoviárias, e desde então vem atuando no desenvolvimento de *software* e *hardware* voltado para a facilitação do levantamento, acompanhamento e fiscalização de não conformidades em rodovias. O método tradicional de detecção e catalogação de problemas em rodovias consiste em uma pessoa percorrendo a rodovia em um veículo, inspecionando as condições da infraestrutura. Ao encontrar um buraco, por exemplo, o hodômetro deve ser zerado para que seja medida a distância até um ponto de referência, onde, com o veículo parado, o técnico preenche um relatório registrando o problema encontrado.

A Kartado desenvolveu um dispositivo no qual o técnico pressiona um botão sempre que uma não conformidade é avistada. Este botão é ligado à um *smartphone* que captura a posição geográfica e insere o registro num sistema de gerenciamento e gestão (Figura 1). O processo retira a necessidade de parar o carro para preencher um relatório descrevendo o problema e sua localização, automatizando a tarefa sem retirar o foco na condução do veículo.

Figura 1 – Diagrama funcional da primeira versão.



A primeira versão deste produto, mostrado na Figura 2, consiste em um botão instalado no painel do veículo, conectado a um *smartphone* ou *tablet* por meio de um cabo. Esta versão logo mostrou-se limitada, pois apenas um tipo de não conformidade pode ser relatado, outros problemas menos frequentes eram tratados com o preenchimento de um relatório no aplicativo do *smartphone*, o que requer a parada do veículo.

Figura 2 – Primeira versão do produto (Kartado).



A segunda versão do equipamento, apresentada na Figura 3, aumentou para três o número de botões, o que permite a associação com mais inconformidades, trazendo mais agilidade ao processo. Entretanto, notou-se que o aumento no número de botões no painel exige maior atenção do motorista.

Figura 3 – Segunda versão, com três botões no painel (Kartado).



Este artigo tem como objetivo documentar o desenvolvimento de uma evolução técnica do produto anterior, buscando aumentar o número de funções, melhorar a integração com o veículo e com o usuário, sem renunciar à segurança do condutor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Nesta sessão será apresentada a fundamentação teórica utilizada como base para a realização deste trabalho.

2.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas, popularizada pela sigla IoT (*Internet of Things*), é a conexão de objetos do cotidiano à Internet, de modo que, sensores e transdutores possam automatizar ou facilitar tarefas que antes necessitavam de maior interferência humana. O aparecimento do conceito motivou o surgimento de diversos dispositivos que não fariam sentido sem conectividade (ASTHON, 2009).

O termo IoT, foi utilizado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton, durante uma apresentação em que foi proposto o uso da Internet e tecnologias de endereçamento a cadeias logísticas sem a interferência direta do ser humano. O objetivo de Ashton era melhorar o fluxo de produtos, gerando movimentações mais rápidas e confiáveis. O autor vislumbrou que poderia possibilitar a cooperação entre todas as partes da cadeia, com informação compartilhada entre os componentes do processo (ASTHON, 2009). Segundo Santos *et al.* (2016) a Internet das Coisas pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias que, juntas, permitem identificar um objeto, medir grandezas por meio de sensores, controlar ambientes por meio de atuadores, além de permitir que os objetos atuem de maneira inteligente, coletem dados e controlem o ambiente automaticamente através de lógicas pré-programadas.

2.2 Elementos Utilizados

Os principais elementos presentes em um sistema IoT são apresentados a seguir:

- **Microcontrolador:** é o núcleo do dispositivo de IoT, ele pode não estar presente em todos os dispositivos, mas está presente na grande maioria. O microcontrolador, MCU (*Microcontroller Unit*) ou μC é um dispositivo com entradas e saídas analógicas e digitais e que são disponibilizadas a um computador programável interno. Este computador, de capacidade limitada, pode ler sinais e atuar sobre saídas para realizar as mais diversas funções (PARAI *et al.*, 2013).
- **Comunicação:** é a troca de informações entre dispositivos, seja entre sensores e o microcontrolador, ou entre o dispositivo como um todo e um *gateway*. A comunicação pode ser cabeada ou sem fio; em geral é cabeada entre sensores e atuadores e sem fios com o *gateway* (FRENZEL JR, 2009).
 - **Bluetooth:** O Bluetooth é um tipo de comunicação sem fio desenvolvido para ser uma rede WPAN (*Wireless Personal Area Networks*), ou seja, uma rede de comunicação sem fio de curto alcance, voltada para interconexão entre objetos pessoais. Está presente na totalidade dos *smartphones* atuais. Nas versões de baixo consumo, chamado de Bluetooth *Low Energy* – BLE, é considerada uma LP-WAN (*Low Power Wireless Personal Area Networks*) (SIEKKINEN *et al.*, 2012).

- **Wi-Fi ou IEEE 802.11:** é um tipo de comunicação sem fio classificado como WLAN (*Wireless Local Area Networks*). Frequentemente é associada a enlaces com baixa latência e grande fluxo de dados. Está presente na totalidade dos *smartphones* atuais (HIERTZ *et al.*, 2010).
- **Comunicação infravermelho:** é uma comunicação por modulação de sinal luminoso em 780 nm, portanto fora do espectro visível; é um tipo de comunicação sem fio “*device-to-device*” simples e de baixo consumo (KAINE-KROLAK, 1995). Por ter sérias limitações de apontamento e distância, caiu em desuso e está presente em poucos *smartphones* atuais.
- **Gateway:** é essencialmente um dispositivo de comunicação. Todo dispositivo que se conecta a Internet o faz através de um dispositivo desse tipo. Um *gateway* pode ser um modem, roteador, um *transceptor* LTE, um celular, entre outros (ZHU *et al.*, 2010).
- **Sensores:** são dispositivos que convertem energia mecânica ou eletromagnética em sinais elétricos que, a partir do devido condicionamento, podem ser lidos e interpretados por uma máquina (SEHRAWAT, 2019).
- **Conversor de Tensão:** é um dispositivo que, essencialmente, converte tensão continuamente entre diferentes níveis e formatos.
- **Bateria:** são um tipo de acumulador de energia, onde a conversão da energia elétrica em energia química consegue acumular um potencial energético estável, que poderá ser convertido em energia elétrica novamente em outro momento (WOLLINGER, 2018).

2.3 Sistemas de Auxílio ao Levantamento de Não Conformidades

A grande maioria das concessões espalhadas pelo mundo utiliza o método tradicional, cada um seguindo diferentes metodologias de avaliação, entretanto, já existem soluções no mercado internacional que utilizam tecnologias mais avançadas, especialmente voltadas às não conformidades na pavimentação asfáltica.

O Reino Unido utiliza duas soluções, uma se chama TRACS, acrônimo do termo em inglês *Traffic-Speed Condition Surveys* outra se chama SCANNER, acrônimo do termo em inglês *Surface Condition Assessment for the National Network of Roads*. O primeiro é baseado em um mapeamento da superfície através de medições a laser, quando uma falha é detectada, uma câmera faz imagens e registra o problema associando com a posição de GPS. A segunda solução é uma evolução do TRACS e utiliza o mapeamento tridimensional a laser, acelerômetros e processamento de imagens; sendo adotada como o principal meio de avaliação das autoestradas da Inglaterra. Ambas as soluções são implementadas em um veículo especialmente adaptado como o da Figura 4.

Figura 4 – Veículo de mapeamento de problemas em autoestradas no reino unido (Departamento de Transporte do Reino Unido).



Existem linhas de pesquisa na área de visão computacional voltadas a detecção de defeitos na pavimentação. Segundo Hollerweger (2019), o maior problema é que os algoritmos de processamento de imagem exigem tempo e poder computacional, o que dificulta o processamento em campo. A solução encontrada pela maioria das propostas é o pós-processamento na nuvem. Além disso, as condições climáticas, iluminação, variedade da coloração asfáltica e a diversificação das não conformidades fazem com que a rede neural precise ser massivamente treinada até que se tenham resultados satisfatórios.

2.4 Concepção de Produto

A concepção de um produto envolve desde a problemática a ser solucionada, passando pelo mapeamento do mercado, os projetos informacional e conceitual.

A problemática é identificada como algo ou alguma tarefa que pode ser feita ou melhorada. O mapeamento de mercado consiste em um estudo realizado para entender as demandas do mercado considerado

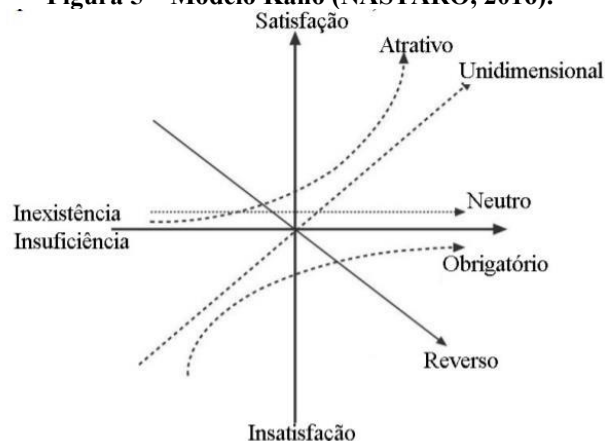
a hipótese da disponibilidade do produto. Já o projeto informacional é responsável por elencar os requisitos para concepção do produto, que então é desenvolvido no projeto conceitual (CARPES, 2014).

Uma prova de conceito PoC (*Proof of Concept*) pode ser realizada antes de um projeto mais elaborado para validar os requisitos, e mesmo realizar uma validação de mercado.

O projeto informacional é a primeira fase do desenvolvimento do produto, nele são levantados os requisitos e transformados em especificações (CARPES, 2014). As especificações do produto são as características quantizadas identificadas dos requisitos, capazes de definir suas características e limitações. Geralmente as especificações são baseadas em estudos elaborados e pesquisas de mercado (CARPES, 2014).

O método de Kano é um dos possíveis métodos de identificação de requisitos baseado na caracterização da necessidade do cliente. Foi desenvolvido pelo professor Noriaki Kano na universidade de Riko em Tóquio na década de 1980. O modelo consiste em um esquema simples de classificação que distingue entre os atributos essenciais e de diferenciação, segundo Roos *et al.* (2009). A Figura 5 mostra que o modelo defende que para alguns atributos do produto, a satisfação do cliente é aumentada drasticamente com uma pequena melhoria, enquanto para outros atributos, a sua satisfação aumenta pouco quando melhorado ao extremo.

Figura 5 – Modelo Kano (NASTARO, 2016).



Kano produziu uma metodologia para o mapeamento de respostas dos consumidores para seu modelo que distingue cada um dos requisitos em seis categorias:

- **Atributo atrativo (A):** o mais importante para a satisfação do cliente, quanto mais presente no produto, maior será a satisfação do cliente, porém, não gera insatisfação caso não for atendido.
- **Atributo obrigatório (O):** gera insatisfação do cliente quando não presente no produto, porém, quando presente não traz satisfação, geralmente está associado a uma premissa básica da existência do produto.
- **Atributo unidimensional (U):** este atributo é proporcional, ou seja, quanto mais presente no produto mais satisfação proporciona, caso contrário mais insatisfação.
- **Atributo neutro (N):** este atributo não gera satisfação nem insatisfação do cliente.
- **Atributo reverso (R):** é o oposto do atributo unidimensional; quanto mais presente no produto mais insatisfação gera ao cliente, caso contrário mais satisfação.
- **Atributo questionável (Q):** indica que a pergunta foi formulada incorretamente, ou seja, o cliente não entendeu a pergunta corretamente ou as respostas da pergunta funcional e disfuncional são inconsistentes.

Segundo Roos *et al.* (2009), para se detectar os tipos de atributos, as classificações de Kano são identificadas através de um questionário especialmente concebido para que contenha um par de perguntas complementares para cada característica do produto. A primeira questão refere-se à reação do cliente se o produto possui uma determinada função/característica, ou seja, a forma funcional da pergunta; a segunda refere-se a sua reação se o produto não tem a característica, ou seja, a forma disfuncional. As possíveis respostas são disponibilizadas nos seguintes graus de satisfação:

- Muito Satisfeito;
- Desejaria e gostaria (obrigatório);
- Isso é indiferente;
- Eu posso conviver com isso (conformado);
- Insatisfeito.

Após a aplicação da pesquisa, a avaliação dos resultados é feita por meio da combinação das respostas das questões funcional e disfuncional. Cada resposta é classificada como um atributo, de acordo com o gabarito proposto por Kano mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro de combinação de respostas funcionais e disfuncionais (Adaptado de Nastaro (2016)).

Resposta do Cliente		Questão disfuncional (negativa)				
		Muito Satisfeito	Desejaria e gostaria	Isso é indiferente	Posso conviver com isso	Insatisfeito
Questão funcional (positiva)	Muito Satisfeito	Q	A	A	A	U
	Desejaria e Gostaria	R	N	N	N	O
	Isso é indiferente	R	N	N	N	O
	Posso conviver sem isso	R	N	N	N	O
	Insatisfeito	R	R	R	R	Q

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Projeto Informacional

A primeira versão deste projeto, apresentado na Figura 2, foi desenvolvido pela Kartado em 2017, como um botão acoplado ao painel do veículo, ligado a um *smartphone* através de um cabo. Com a necessidade de identificar um número maior de não conformidades, uma versão com três botões, apresentada na Figura 3, foi desenvolvida, entretanto identificou-se um pequeno desvio de foco do motorista, o que inviabiliza o desenvolvimento de um projeto com maior número de botões nestes moldes.

A falta de integração do produto com o veículo, a apresentação visual, e a conexão cabeada entre a botoeira e o *smartphone* são aspectos de menor relevância, mas que agregam valor ao serviço quando melhorados.

A transição natural imediatamente parecia ser o acoplamento ao volante, assim como os comandos de som, de modo que o condutor pudesse clicar no botão correspondente à patologia identificada sem tirar as mãos do volante, contando com a memorização da posição dos botões. A partir desta ideia, e com o conhecimento do modelo de negócios e de operação dos clientes, foram definidas algumas premissas iniciais para o início deste projeto, são elas:

- Não substituir nenhum componente do veículo;
- Não modificar nenhum componente do veículo;
- Não se conectar eletricamente ao veículo durante a operação;
- Não atrapalhar a dirigibilidade;
- Não desviar a atenção do motorista;
- Comunicar-se sem fios com o *smartphone/tablet*;
- Ter ao menos seis botões para catalogar diferentes problemas;
- Ser de fácil instalação e substituição;
- Ser compacto e leve;
- Ser barato.

3.1.1 Pesquisa de Necessidades dos Usuários do Sistema

Uma pesquisa, utilizando o método de Kano, foi realizada de modo a identificar se os direcionamentos do produto têm a aprovação do público-alvo e para capturar e entender algumas das suas necessidades. A pesquisa foi realizada em julho de 2020, através do *Google Forms*, uma ferramenta de pesquisas do Google, e obteve um total de 16 respostas advindas exclusivamente dos *stakeholders*. Cabe salientar que todos os respondentes conhecem as versões anteriores do produto, alguns deles já testaram ou foram apresentados à nova versão.

Perguntados sobre a localização dos botões, os respondentes foram confrontados com perguntas sobre a sensação ao ter os botões no painel ou no volante, sem mostrar imagens de nenhuma das configurações. Considerando o posicionamento no volante como a questão funcional positiva, a Tabela 1 mostra que a evolução agrada 31,4% dos usuários e é neutra para 43,8%.

Tabela 1 – Resultado do atributo posicionamento dos botões.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	18,8%	
Unidimensional	6,3%	31,4%
Obrigatório	6,3%	
Neutro	43,8%	43,8%
Reverso	6,3%	
Questionável	18,8%	25,1%

Questionados sobre o posicionamento dos botões no volante, os entrevistados foram apresentados às opções de posicionamento na parte frontal ou traseira do volante. Considerando o posicionamento na parte frontal como a questão funcional positiva, os entrevistados deram respostas neutras como a Tabela 2 demonstra. Isso provavelmente ocorreu pelo fato de os entrevistados poderem ver a questão seguinte, a qual questionava a sensação do usuário para o caso do produto permitir facilmente a modificação da posição.

Tabela 2 – Resultado do atributo posição no volante.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	6,3%	
Unidimensional	12,5%	18,8%
Obrigatório	0,0%	
Neutro	56,3%	56,3%
Reverso	6,3%	
Questionável	18,8%	25,1%

A Tabela 3 apresenta o resultado dos questionamentos sobre a flexibilidade de acoplamento do módulo de acionamento com o volante. Considerando a neutralidade nas respostas sobre a posição, e que a flexibilidade agrada 50% dos usuários e não desagrada os outros 50%, tem-se um indicativo de que é a melhor opção a ser adotada.

Tabela 3 – Resultado do atributo flexibilidade de posicionamento.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	0,0%	
Unidimensional	31,3%	50,0%
Obrigatório	18,8%	
Neutro	50,0%	50,0%
Reverso	0,0%	
Questionável	0,0%	0,0%

Uma premissa do projeto é que o produto deve ser de fácil instalação e deve operar de forma completamente independente do veículo, apenas fazendo uso do volante como suporte. Isso impede que o dispositivo faça uso de energia disponível no veículo durante o uso, sendo assim, deve operar através de uma bateria interna.

Os entrevistados foram questionados sobre a autonomia através de três questionamentos, o primeiro sugerindo uma autonomia de dois dias, o segundo sugerindo 10 dias e o terceiro sugerindo autonomia indeterminada, o que seria possível aproveitando a energia luminosa que transpassa o para-brisa.

O resultado apresentado pela Tabela 4 parece indicar que o atributo é neutro, mas que agrada para o caso de ser maior. Considerando que os entrevistados tinham acesso à questão seguinte, é compreensível que tenham direcionado suas respostas para indicar que a autonomia infinita agrada mais.

Tabela 4 – Resultado do atributo autonomia 1.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	25,0%	
Unidimensional	6,3%	37,6%
Obrigatório	6,3%	
Neutro	56,3%	56,3%
Reverso	0,0%	
Questionável	6,3%	6,3%

A Tabela 5 compara a autonomia de 2 dias com autonomia infinita, o que indica claramente que uma maior autonomia agrada mais o usuário.

Tabela 5 – Resultado do atributo autonomia 2.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	62,5%	
Unidimensional	18,8%	81,3%
Obrigatório	0,0%	
Neutro	12,5%	12,5%
Reverso	0,0%	
Questionável	6,3%	6,3%

A primeira versão do produto era conectada, através de um cabo, a um *smartphone* ou *tablet*, utilizado para outros fins, o que gerava demandas de manutenção por rompimento e mal contato devido ao desgaste dos conectores. Por isso ficou definido inicialmente que o dispositivo não deveria conectar-se ao *smartphone* através de fios. Ainda assim foi questionado se a mudança vai ao encontro da satisfação do usuário. Considerando a resposta de conectividade sem fio como funcional, e com fios, disfuncional, a Tabela 6 indica que a conexão sem fios é uma característica unidimensional.

Tabela 6 – Resultado do atributo conexão com ou sem fios.

Atributo	Respostas	Agrado
Atrativo	18,6%	
Unidimensional	43,8%	62,4%
Obrigatório	0,0%	
Neutro	25,0%	25,0%
Reverso	6,3%	
Questionável	6,3%	12,6%

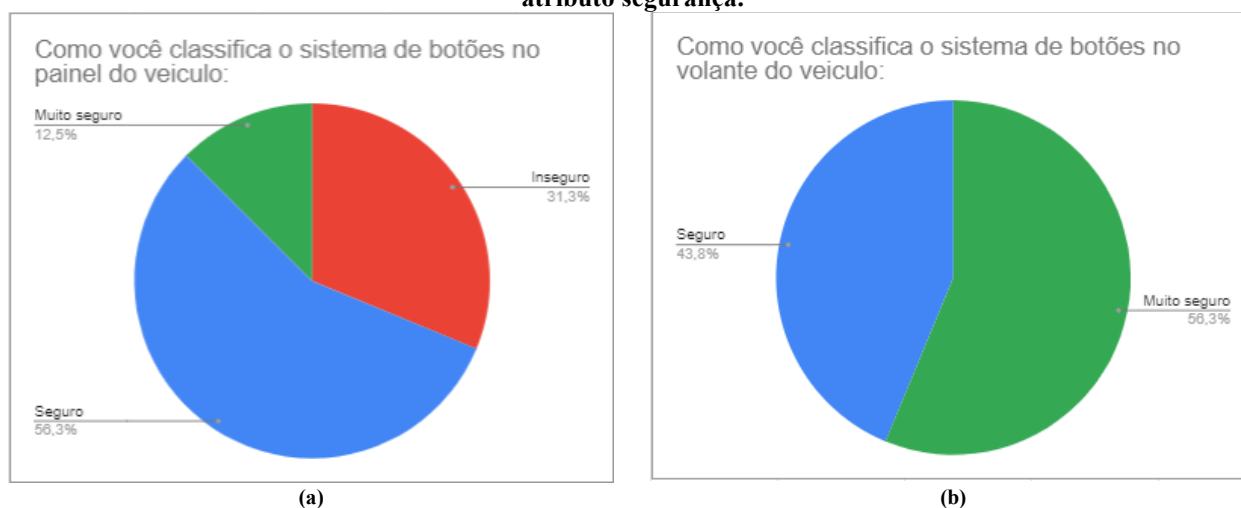
Algumas perguntas foram realizadas fugindo do método de Kano tradicional, fazendo apenas uma pergunta funcional, adotando as opções de resposta do método.

Questionados sobre a possibilidade de o usuário substituir o dispositivo por outro em caso de falha, orientado pelo suporte técnico, 50% responderam “muito satisfeito”, 18,8% “desejaria e gostaria” enquanto o restante, 31,2% demonstram indiferença. Isso indica que o produto deve ser de fácil instalação ou substituição em caso de falhas, de modo que o próprio cliente possa realizar estes procedimentos.

Questionados sobre o acabamento em couro exibido em uma imagem, 37,5% responderam “muito satisfeito”, 25% “desejaria e gostaria”, 25% responderam que “isso é indiferente” e 12,5% disseram “eu posso conviver sem isso”. Estes resultados demonstram que o acabamento agrada o público.

Já quando questionados sobre o acabamento em Neoprene, também exibido em uma imagem, 37,5% responderam “muito satisfeito”, 6,3% “desejaria e gostaria”, 50% dizem que “isso é indiferente” e somente 6,3% demonstra insatisfação, o que indica que um acabamento de couro agrada pouco mais que o Neoprene.

No quesito segurança, a Figura 6 mostra que a maior parte dos entrevistados considera que tanto as soluções antigas quanto a nova são seguras, mas quando confrontadas, a solução proposta demonstra ser mais segura na opinião dos usuários.

Figura 6 – Quadro de combinação de respostas funcionais e disfuncionais sobre o atributo segurança.

Ainda no quesito segurança, 62,5% consideram que é mais seguro ter os botões posicionados na porção frontal do volante, 12,5% acham mais seguro na parte traseira enquanto 25% acreditam que a versão anterior é mais segura de operar enquanto dirige. Esse resultado mostra que 75% dos entrevistados acreditam que a solução proposta traz mais segurança na operação.

A última questão confronta o usuário entre o método tradicional e o sistema desenvolvido, incluindo *software* e *hardware*, onde todos os usuários responderam que o sistema proposto provê mais agilidade ao processo.

A partir destes resultados é possível concluir que o posicionamento dos botões sobre o volante agrada e traz segurança ao usuário, e que a flexibilidade no posicionamento é uma característica desejável. A conexão com o *smartphone* deve ser estabelecida sem o uso de fios, e a autonomia deve ser a maior possível. No quesito acabamento, o couro agrada um pouco mais os usuários, entretanto o Neoprene é um material muito mais barato e ecológico.

3.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual foi realizado levando em consideração as premissas definidas no início do projeto e as pesquisas através do método de Kano.

3.2.1 Visão Geral da Solução Proposta para o Produto

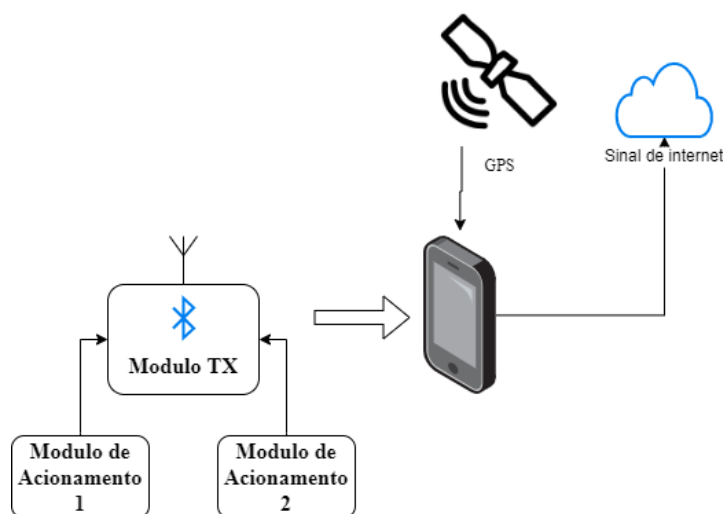
A partir das definições iniciais, o projeto iniciou com uma chuva de ideias a respeito da distribuição dos botões e da modularização do sistema. Ficou definido que o produto seria composto de um módulo central, onde se encontram o microcontrolador, transmissor, bateria, e demais circuitos, além de um ou dois módulos de acionamento.

Foram confeccionados módulos de acionamento com três e seis botões para testes de acoplamento ao volante, onde foi identificado que um módulo com mais de três botões se torna grande, e, portanto, de difícil adaptação. Os testes também mostraram que a memória mecânica, ou seja, a memorização da posição de cada botão, fica prejudicada quando há mais de três botões. A situação piora para o caso que o módulo de acionamento fica na parte traseira do volante, o que impede a visualização.

Assim ficou definido que seriam dois módulos de acionamento com três botões cada, com tamanho e formato tal que melhor se adequa aos modelos Volkswagen Gol/Saveiro e Ford Ka; os modelos mais adotados pelos clientes. É possível realizar a instalação em outros modelos de veículo, mas a fixação do módulo de acionamento pode não ser tão efetiva.

A Figura 7 representa a modularização proposta e o funcionamento básico do sistema, onde a partir do estabelecimento da conexão Bluetooth, cada botão pressionado envia um pacote específico, o aplicativo instalado no smartphone faz a associação entre a não conformidade avistada pelo condutor e o botão correspondente. O sinal de GPS é constantemente monitorado pelo aplicativo de forma que seja feita a associação entre a posição geográfica no momento que o botão foi pressionado, e a não conformidade apontada, gerando relatórios com precisão razoável.

Figura 7 – Diagrama da solução proposta.



O projeto foi desenvolvido na seguinte sequência: módulo transmissor, módulo de acionamento, chicotes e projeto mecânico do suporte do módulo de acionamento.

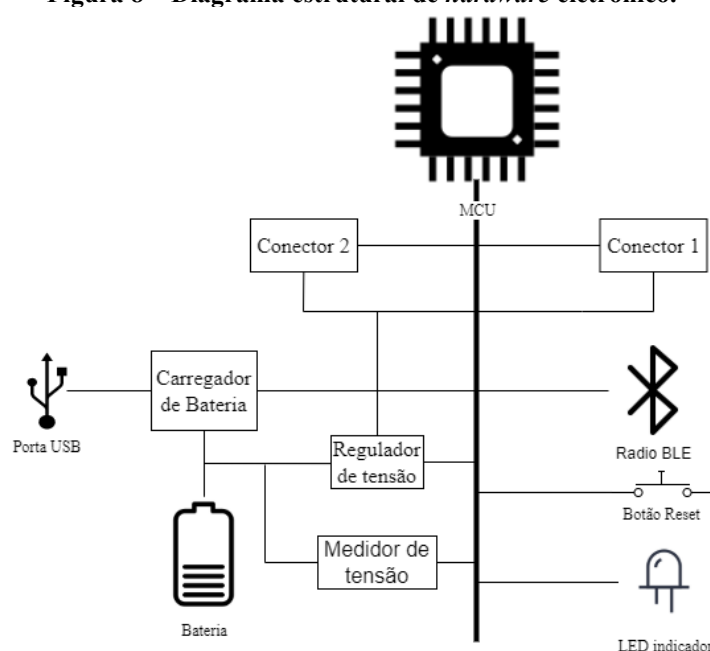
3.2.2 O Módulo Transmissor

O projeto conceitual do módulo transmissor iniciou-se pela definição das funções do produto, são elas:

- Sair modo de baixo consumo com o pressionar de um botão do módulo de acionamento;
- Conectar-se via Bluetooth com um dispositivo pareado;
- Ficar disponível para um pareamento caso um dispositivo já pareado não esteja disponível;
- Transmitir um pacote diferente para cada um dos seis botões;
- Carregar a bateria;
- Medir periodicamente e informar o nível de carga da bateria nos pacotes de transmissão;
- Enviar uma mensagem de “*keep alive*” para manter a conexão ativa;
- Entrar em modo “*deep sleep*” 30 minutos após a desconexão com o *smartphone*.

A Figura 8 mostra como os periféricos estão interligados com o microcontrolador. O microcontrolador recebe sinais dos módulos de acionamento, ligados aos conectores 1 e 2, comunica-se com o rádio BLE através da porta serial, e pode verificar a tensão da bateria e atuar sobre o regulador de tensão para o desligamento total do sistema.

Figura 8 – Diagrama estrutural de *hardware* eletrônico.



Microcontrolador

O microcontrolador (MCU) foi escolhido pelos critérios de custo e familiaridade com a plataforma. A partir da definição de todos os GPIOs (*General Purpose Input/Output*) utilizados, foi escolhido o STM32F030 da ST Microelectronics, um MCU de arquitetura ARM e núcleo Cortex M0, com porta serial (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* – UART), I/Os e um conversor analógico-digital (*Analog to Digital Converter* – ADC). Os microcontroladores desta linha possuem osciladores internos, o que reduz o número de componentes necessários para funcionamento, além disso apresentam consumo razoavelmente baixo comparados à concorrentes de arquitetura AVR da Microchip Technologies.

Conectividade

A conexão via Bluetooth foi escolhida devido à necessidade de conexão com o *smartphone* sem fios e com baixo consumo de energia. O módulo escolhido, Microchip RN4870, na versão v5.0 conhecida como Bluetooth *Low Energy* (BLE) mostrou-se uma boa escolha, pois é de fácil implementação, tem baixo consumo e compatível com a maioria dos dispositivos do mercado.

Existem microcontroladores com um rádio BLE integrado, o que poderia tornar o produto mais compacto e barato, entretanto a implementação em *hardware* e em *firmware* é mais complexa, colocando em risco os prazos de entrega. A possibilidade de utilização da CPU do módulo BLE foi considerada em um momento do desenvolvimento, mas o número de GPIOs inviabilizava a tentativa.

Armazenamento de Energia

Buscando baixo custo, alta disponibilidade, baixo peso e volume, e uma vida útil longa, foi escolhida uma bateria de Lítio-Polímero (Li-Po) como acumulador de energia. As baterias desse tipo popularizaram-se nos últimos 10 anos, apresentando cada vez mais densidade energética e segurança. Considerando o uso em ambiente automotivo onde a temperatura pode ter picos de 70 °C, a bateria a ser utilizada deve ter temperatura de operação compatível pois é um fator degradante na vida útil da bateria.

Para definir a capacidade da bateria, deve-se somar o consumo médio da MCU, o consumo médio do rádio BLE em uso, e o consumo do regulador de tensão.

O microcontrolador opera com oscilador interno sem PLL, o que resulta em um *clock* de 8 MHz e um consumo de 5,6 mA, segundo a folha de dados. A Microchip Technologies informa que o rádio transmissor pode ter picos de consumo de 13 mA, mas a corrente média consumida é 2,23 mA, seja em transmissão ou recepção dos pacotes, como o dispositivo mantém uma troca pacotes de “*keep alive*” para manter a conexão sempre ativa. O consumo quiescente do regulador de tensão é da ordem de 175 μ A, e a queda de tensão 0,9 V na condição de carga total da bateria, ou seja, a máxima potência consumida é de 157,5 μ W, desprezível, frente ao consumo do microcontrolador e do rádio transmissor.

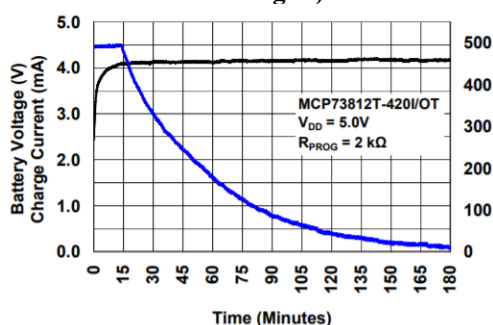
Logo, a corrente média consumida pelo módulo transmissor é a soma das correntes do microcontrolador e do rádio, ou seja, cerca de 7,83 mA. Num cálculo aproximado, uma bateria de 800 mAh completamente carregada mantém essa corrente de descarga por aproximadamente 102 horas; se considerada uma operação diária de 6 horas, isso resulta em uma autonomia de cerca de 17 dias.

Recarga e Gerenciamento de Energia

Baterias de Li-Po tem curvas de carga e descarga que devem ser respeitadas para que seu uso seja seguro e a vida útil seja prolongada. Em geral, células com tecnologia baseada em lítio são recarregadas em dois estágios, o primeiro de corrente constante (CC) até que a tensão da célula atinja a tensão limite de 4,2 V, a partir daí, inicia-se o estágio de tensão constante (CV). O ciclo se encerra quando a corrente decai até um limiar inferior, esse estágio é chamado de “*End of Cycle*” (EOC). Os limites de corrente no estágio CC, a tensão no estágio CV e o limiar de corte no estágio EOC, são parâmetros informados na folha de dados da bateria, e devem ser respeitados para que a recarga seja feita com segurança e a vida útil projetada seja alcançada.

A célula escolhida permite recargas à taxa de 1 C no estágio CC, ou seja, uma vez a capacidade nominal da célula, tensão no estágio CV de 4,2 V e 10 mA no estágio EOC. Considerando a temperatura elevada no interior do veículo, e visando um prolongamento da vida útil da célula, o carregador foi configurado para fornecer no máximo 450 mA, a Figura 9 apresenta a curva de carga do circuito integrado MCP73811, empregado no dispositivo.

Figura 9 – Estágios CC, CV e EOC do controlador de carga MCP73811 (Microchip Technologies).

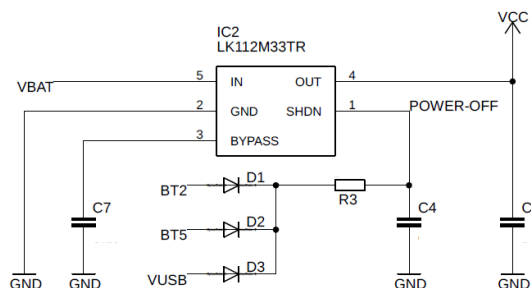


A corrente de descarga das células de lítio também deve ser controlada para que a célula não atinja temperaturas elevadas, o que pode degradar a célula ou mesmo causar um incêndio. Além disso é importante que a descarga seja feita no máximo até o limiar de 3 V; descargas mais profundas degradam severamente as estruturas químicas da célula. Alguns carregadores possuem um estágio de pré-carga (PC) para eventuais casos nos quais a tensão da célula cai abaixo dos 2,7 V.

Para evitar que a tensão da célula caia abaixo desse limiar degenerativo, foi utilizado o circuito integrado LK112M33TR, um regulador de tensão com função *enable*, mostrado na Figura 9. O circuito desenvolvido permite que o MCU possa desligar todos os circuitos quando detecta que a tensão está próxima de 3 V. O módulo só se inicia caso o carregador seja conectado ou quando os botões 2 ou 5, do módulo de acionamento, são pressionados, fazendo com que a tensão da bateria seja aplicada sobre o somador formado pelos diodos

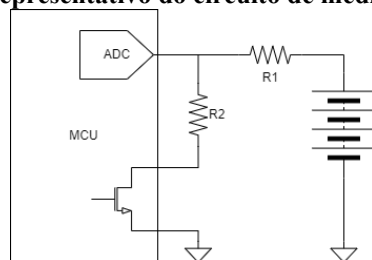
D1, D2 e D3 na Figura 10. É importante que o pino do microcontrolador nomeado de “POWER-OFF” seja configurado com resistor de *pull-up*, para que tensão nesse ponto mantenha-se em nível lógico alto após a inicialização.

Figura 10 – Regulador de tensão e circuito lógico de acionamento e desligamento total.



É possível fazer estimativas da capacidade restante de uma bateria de lítio com relativa precisão avaliando a tensão da célula. Considera-se que a carga é 100% quando a tensão é de 4,2 V e 0% quando atinge os 3 V. Para realizar as amostragens de tensão, foi utilizado o circuito da Figura 11, basicamente um divisor resistivo para que a tensão sobre o ADC nunca supere o teto de 3 V. Entretanto, deve-se tomar cuidado para não drenar energia desnecessariamente por este circuito, logo, um GPIO configurado como dreno aberto foi utilizado como chave para interromper a passagem de corrente através do divisor resistivo.

Figura 11 – Diagrama representativo do circuito de medição de tensão da bateria.

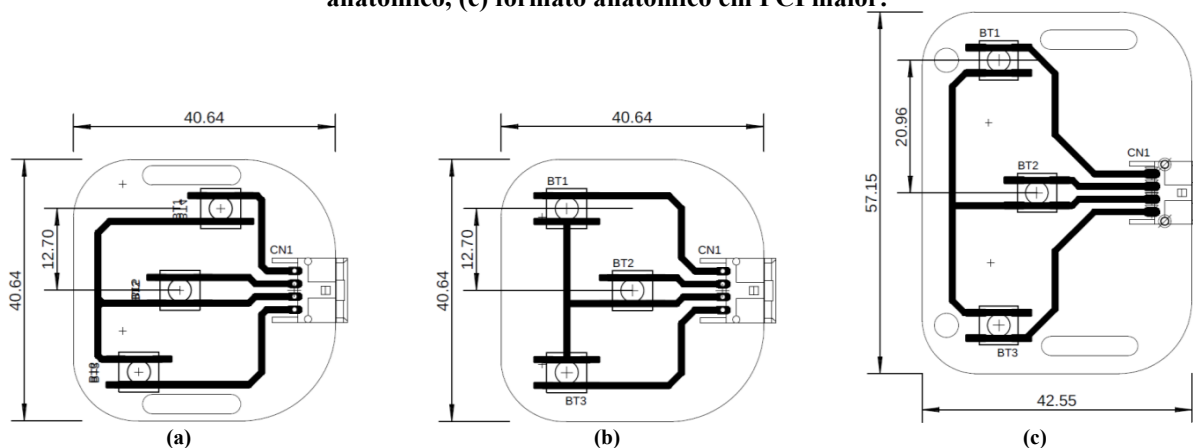


3.2.3 O Módulo de Acionamento

No estudo inicial foram feitas duas placas com três botões e uma placa com seis botões para testar a possibilidade de concentrar seis funções em um módulo apenas. O resultado obtido é que o usuário tem dificuldade de escolher o botão correto enquanto dirige, desviando sua atenção. Além disso, um módulo com um grande número de botões torna-se relativamente grande, o que prejudica a integração com o volante do veículo.

A configuração com três botões em cada mão gera maior assertividade por parte do usuário, pois é possível memorizar a posição de cada um dos botões. Por consequência essa configuração requer menos atenção do motorista. A partir daí foram feitas três propostas com diferentes posicionamentos e espaçamentos entre os botões. O formato e dimensões das placas de circuito impressos (PCI), apresentados na Figura 12, são resultado de uma tentativa de melhor acoplamento nos volantes dos veículos Ford Ka e Volkswagen Gol/Saveiro.

Figura 12 – Versões testadas: (a) botões na diagonal, (b) botões em formato anatômico, (c) formato anatômico em PCI maior.



A mão humana tem o dedo indicador e o anelar menores que o dedo médio, a maior separação entre os botões torna o modelo na Figura 12(c), aquele que provoca maior sensação de conforto e assertividade, por isso foi o modelo escolhido.

3.2.4 O Suporte do Módulo de Acionamento

O suporte do módulo de acionamento é o artefato utilizado para fixar e posicionar o módulo de acionamento sobre o volante. A placa de circuito impresso possui dois furos oblongos para que o módulo possa ser fixado com abraçadeira ajustável. Entretanto a falta de acabamento e o método de fixação tem uma apresentação que desagrada os usuários, o que motivou o desenvolvimento de um invólucro que não só envolva a PCI e os botões, mas também atue na fixação do módulo no volante do veículo. Foram desenvolvidos dois modelos: um em couro (Figura 13(a)) e outro em Neoprene, (Figura 13(b) e Figura 13(c)). O modelo em couro é fixado através de fecho de contato adesivo para que a posição possa ser ajustada. Já o modelo em Neoprene possui abraçadeiras flexíveis para sustentação, feitas no mesmo material, o que retira a necessidade de colagem no veículo.

Figura 13 – Invólucro do módulo de acionamento: (a) fabricado em couro, (b) fabricado em Neoprene e (c) fabricado em Neoprene posicionado na posição traseira do volante com abraçadeira.



A fabricação do modelo em couro é mais onerosa, pois além da matéria prima ser mais cara, a PCI precisa ser costurada juntamente com o suporte, o que eleva o custo de mão-de-obra. O mesmo não ocorre com o modelo fabricado em Neoprene, pois devido à elasticidade do material, as partes podem ser cortadas a laser e costuradas conforme o projeto, e a PCI pode ser inserida em outro momento através da abertura do conector.

3.2.5 O Gabinete do Módulo Transmissor

O gabinete do módulo transmissor deve comportar a PCI montada e a bateria, de modo que objetos pontiagudos não danifiquem os componentes, e ainda se obtenha uma apresentação visual satisfatória. O item escolhido é do fabricante nacional Patola, modelo PBT064/2, selecionado por adequar-se bem à proposta, aliado à disponibilidade e baixo custo.

A Figura 14 mostra o módulo transmissor acoplado ao volante, o que é feito com fecho de contato adesivo. Três conectores são expostos, dois destinados à interconexão com os módulos de acionamento e um, micro USB, destinado à recarga da bateria. Um LED é exposto para indicar que o dispositivo está sendo recarregado.

A fixação do módulo transmissor na parte de baixo do volante foi escolhida não só por estética, mas também por proteger o produto da insolação direta, o que ajuda a conservar a vida útil da bateria.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Devido à baixa complexidade e aos testes realizados previamente num modelo de laboratório, todos os circuitos funcionaram conforme o esperado.

Alguns detalhes não haviam sido considerados no início do projeto e se apresentaram quando os protótipos estavam prontos para testes, como a potência de transmissão do rádio, que na condição de operação, a menos de um metro do dispositivo pareado, pode operar com potência mínima, o que leva o dispositivo a um consumo ligeiramente menor, impactando positivamente na autonomia.

O microcontrolador tem um sensor de temperatura interno que foi utilizado para caracterização do ambiente de operação. Verificou-se que as temperaturas podem chegar a níveis elevados, por isso foram criadas rotinas de monitoramento da temperatura durante a recarga, de modo que o processo seja feito de modo mais seguro. O circuito de medição de bateria mostrou-se bastante conveniente por não manter uma corrente

constante no divisor resistivo, o que poderia inutilizar a bateria caso um dispositivo ficasse sem uso por alguns meses, situação que poderá ocorrer nesse produto. O circuito de interrupção de corrente, e a faixa de temperatura de operação exigiram a implementação em *firmware* de uma tabela de compensação, onde os parâmetros foram retirados de ensaios práticos.

Figura 14 – Módulo transmissor acoplado ao volante.



4.1 Ensaios de Pré-Certificação

Por se tratar de um equipamento que realiza uma comunicação sem fios com um *smartphone* numa faixa de radiação restrita, em ambiente veicular, mas sem qualquer conexão elétrica com ele, cabe apenas uma homologação junto ao órgão responsável por regulamentar equipamentos de telecomunicações.

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), na resolução nº 680 de 27 de junho de 2017, define as diretrizes de homologação de dispositivos de radiocomunicação de radiação restrita, através do ato nº 14.448, de 4 de dezembro de 2017, onde há uma seção específica que define os meios técnicos para avaliação de dispositivos de radiação restrita com espalhamento espectral e salto em frequência – FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum*).

Foram realizados ensaios para avaliar o desempenho em radiofrequência (RF) do produto, verificando a conformidade com os requisitos do sistema de comunicação adotado e com a norma vigente.

Os ensaios propostos pelo ato nº 14.448 tem por objetivo verificar os padrões de transmissão, limites de potência, ocupação temporal e espectral dos sinais. O equipamento sob teste (ESE) deve ser configurado em sua potência máxima e com transmissões periódicas em intervalos de 20 ms.

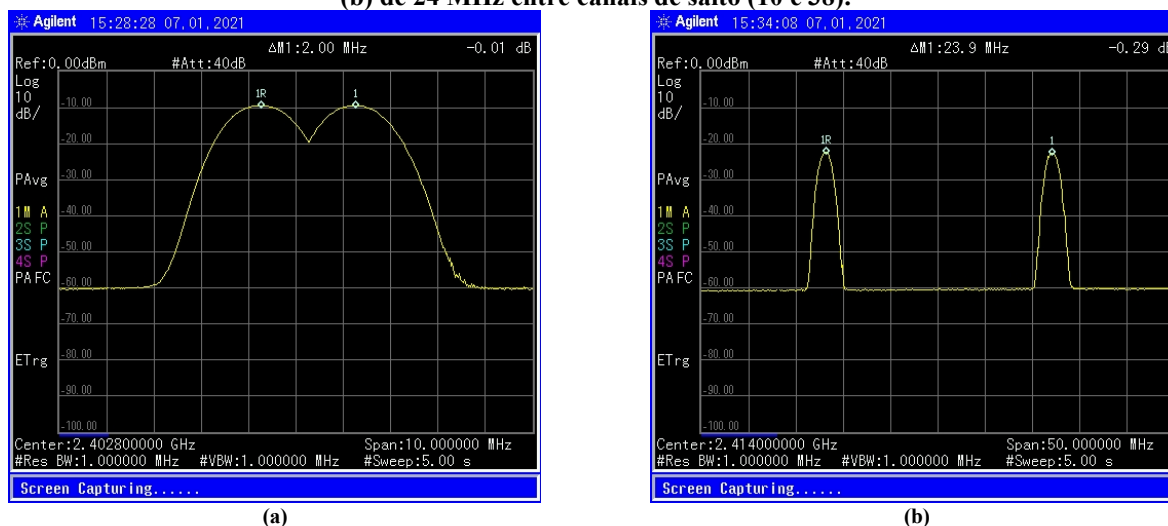
4.1.1 Resultados dos Ensaios

Os ensaios foram realizados de modo conduzido, sendo o equipamento utilizado, um analisador espectral Agilent N9320B, pertencente à Fundação CERTI. Os ensaios foram realizados nas instalações desta fundação.

Separação de Canais de Salto

O Bluetooth utiliza uma estratégia de transmissão chamada *frequency-hopping*, que consiste em saltar em frequência durante uma transmissão para aumentar a imunidade contra interferências. A Figura 15 mostra ocupações espectrais separadas de 2 MHz, referente a dois canais consecutivos e separação de 24 MHz entre canais de salto.

Figura 15 – Ocupação espectral: (a) de dois canais adjacentes - separação de 2 MHz e (b) de 24 MHz entre canais de salto (10 e 38).

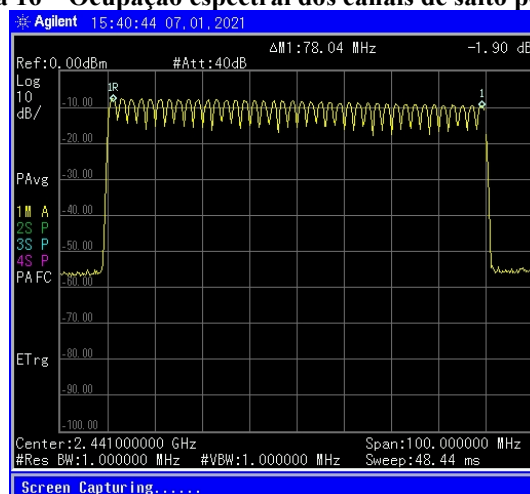


A norma diz que as radiofrequências portadoras dos canais de salto devem estar separadas por um mínimo de 25 kHz ou pela largura de faixa do canal de salto a 20 dB, devendo ser considerado o maior valor. A largura do canal à 20 dB é de 1 MHz, logo, a separação vista na Figura 15 está de acordo com a norma estabelecida.

Número de Frequências de Salto

Segundo a norma, os sistemas devem utilizar, no mínimo, 15 radiofrequências de salto não coincidentes. O número de frequências de salto possíveis difere entre as versões do sistema Bluetooth, neste caso, o Bluetooth *Low Energy* 5.0 (BLE), possui 40 canais dentro da faixa de operação, 2,402 a 2,480 GHz, que podem ser observados na Figura 16.

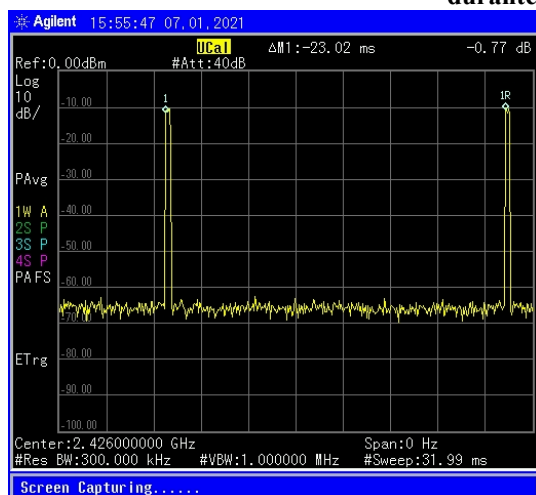
Figura 16 – Ocupação espectral dos canais de salto possíveis.



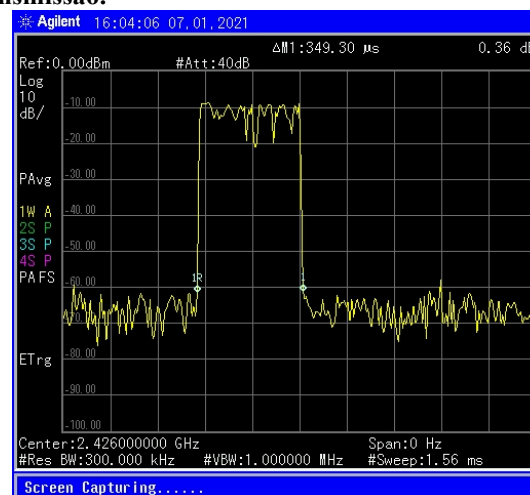
Tempo de Ocupação

O tempo médio de ocupação de qualquer radiofrequência não deve ser superior a 0,4 segundos num intervalo de 0,4 segundos multiplicado pelo número de canais possíveis. No domínio do tempo, a Figura 17 mostra que, num período de 31,99 ms, o tempo de ocupação foi de 698,6 μ s, então para o período 40 vezes maior, 16 s, tem-se uma ocupação de 27,94 ms, portanto o equipamento atende à norma com margem de 372,06 ms.

Figura 17 – Tempo de ocupação do canal: (a) entre duas transmissões consecutivas (b) durante uma transmissão.



(a)



(b)

Emissão Fora da Faixa

Além de adequar-se aos padrões de transmissão, o equipamento não deve emitir sinais espúrios, isso pode comprometer o funcionamento de outros subsistemas ou mesmo outros equipamentos. A norma define quatro faixas a serem observadas e o limite entre a amplitude do sinal emitido em relação ao sinal espúrio de maior amplitude observado deve ser maior que 20dB.

A Tabela 7 apresenta os resultados das medições dos sinais irradiados fora da faixa de operação em relação aos sinais emitidos dentro da faixa de operação, nas quatro faixas o equipamento se enquadra com margem de folga. Aqui cabe lembrar que o Agilent N9320B, alcança o limite máximo de 3 GHz, enquanto a norma solicita a verificação no último teste até 30 GHz.

Tabela 7 – Diferença entre os sinais transmitidos e espúrios emitidos fora da faixa.

Faixa de Frequência [MHz]	Diferença [dB]	Limite [dB]
30 a 2.402	48,74	≥ 20
2.402 a 2.480	63,57	≥ 20
2.480 a 2.580	63,35	≥ 20
2.580 a 3.000	57,49	≥ 20

Os ensaios de pré-certificação não têm qualquer validade perante a ANATEL, entretanto é de grande importância a execução da rotina de testes a que o equipamento será submetido para homologação. Os testes realizados mostram que o equipamento opera dentro dos padrões de transmissão específicos da tecnologia empregada. Apesar do ensaio não verificar o comportamento entre 3 e 30 GHz, é bastante improvável que existam emissões espúrias nessa faixa com energia suficiente para comprometer a homologação.

5 CONCLUSÃO

O projeto como um todo mostrou-se capaz de realizar todas as funcionalidades que foram propostas. Todas as premissas iniciais passadas pela Kartado foram levadas em consideração em algum grau, dentro do possível para o contexto deste projeto.

Há consenso entre os entrevistados de que este produto traz mais agilidade em comparação com o método tradicional, e que há aumento da sensação de segurança nesta nova versão, mesmo com o aumento no número de funções. Isso significa que o projeto teve êxito naquilo que se propôs.

O desenvolvimento de um produto feito de forma rápida e com restrições orçamentárias acaba sendo realizado de forma mais conservadora, de modo a garantir a conclusão em poucas iterações. No caso deste projeto, a utilização de um microcontrolador com rádio Bluetooth integrado poderia diminuir o número de componentes, o tamanho da PCI e reduzir o consumo de energia, o que acaba desencadeando diversas outras possibilidades de melhoria.

Com relação ao gerenciamento de energia, o dispositivo poderia aproveitar a radiação que adentra o veículo para recarregar uma bateria menor ou um super capacitor, através de células fotovoltaicas. O módulo de acionamento pode ser feito como teclado de membrana, uma alternativa barata ao método utilizado, mas que tem durabilidade e resposta tátil inferior, ou seja, a sensação de pressionamento do botão é prejudicada.

Outra possibilidade de melhoria está nos chicotes de conexão entre o módulo de controle e os módulos de acionamento. Foi identificado um ponto de falha: a crimpagem dos contatos metálicos se mostrou frágil quando combinados com o fio 24 AWG de cobre com revestimento de PVC. A utilização de fio com revestimento em teflon deve melhorar este ponto de falha.

O gabinete utilizado possui diversas características desejáveis, mas tem um sistema de fechamento frágil e pouco efetivo. Isso faz com que o produto não se mantenha fechado após alguns ciclos de abertura e fechamento. Poderia ser resolvido com a substituição por outro modelo com sistema de fechamento com parafuso.

De modo geral, o desenvolvimento deste projeto, desde a compreensão do problema, captura de requisitos, desenvolvimento de *hardware*, *firmware*, componentes mecânicos, documentações e este artigo, forma um exercício fiel daquilo que foi proposto no curso de pós-graduação em desenvolvimento de produtos eletrônicos.

REFERÊNCIAS

ANATEL. **Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017**. Disponível em:

<<https://espectro.org.br/sites/default/files/downloads-legislacao/Anatel%20-%20Resolucao%20680%2C%20de%2027%20de%20junho%20de%202017.pdf>>.

ANATEL. **Ato nº 14448, de 04 de dezembro de 2017**. Disponível em:

<<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448>>.

ASHTON, Kevin *et al.* **That ‘internet of things’ thing**. *RFID journal*, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.

Disponível em: <<http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>>.

BLUETOOTH. *Bluetooth Technology Overview*. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>>.

CARPES JR, Widomar P. *Introdução ao projeto de produtos*. Bookman Editora, 2014.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (UK). *Technical Note: Road Conditions and Maintenance Data*. Disponível em:

<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032372/technical-guide-to-road-conditions.pdf>.

FRENZEL JR, Louis E. *Fundamentos de Comunicação Eletrônica - Volume 2*. AMGH Editora, 2009.

HIERTZ, Guido R. *et al. The IEEE 802.11 universe*. *IEEE Communications Magazine*, v. 48, n. 1, p. 62-70, 2010.

HOLLERWEGER, Marcos Meyer *et al. Aplicação de Visão Computacional no Auxílio ao Levantamento de Defeitos em Pavimento Rodoviário*. 2019.

KAINE-KROLAK, Maureen; NOVAK, Mark E. *An Introduction to Infrared Technology: Applications in the Home, Classroom, Workplace, and Beyond*. In: *Closing the Gap Conference*. 1995. p. 1-16.

MICROCHIP TECHNOLOGY. *Folha de dados do componente MCP73811/2*. Disponível em: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22036b.pdf>>.

MICROCHIP TECHNOLOGY. *Folha de dados do componente RN4870*. Disponível em: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/RN4870-71-Data-Sheet-DS50002489E.pdf>>.

NASTARO, Renato. *O método do modelo de Kano*, 2016. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/410724093/O-Modelo-de-Kano-Um-Estudo-Pratico-Sequoia-Consultoria>>.

PARAI, Manas Kumar; DAS, Banasree; DAS, Gautam. *An overview of microcontroller unit: from proper selection to specific application*. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, v. 2, n. 6, p. 145-147, 2013.

ROOS, Cristiano; SARTORI, Simone; GODOY, Leoni Pentiado. *Modelo de Kano para a identificação de atributos capazes de superar as expectativas do cliente*. *Revista Produção Online*, v. 9, n. 3, 2009.

SANTOS, Bruno P. *et al. Internet das coisas: da teoria à prática*. 2016.

SCHAUN, André. *Por que a gente paga para dirigir na estrada? Veja o que fazem com o dinheiro dos pedágios*. Disponível em: <<https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2020/08/para-onde-vai-o-dinheiro-arrecadado-com-pedagios-e-como-funciona-uma-concessao-de-rodovia-para-empresas-privadas.html>>.

SEHRAWAT, Deepti; GILL, Nasib Singh. *Smart sensors: Analysis of different types of IoT sensors*. In: *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. IEEE, 2019. p. 523-528.

ST MICROELECTRONICS. *Folha de dados do componente LK112*. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/lk112.pdf>>.

ST MICROELECTRONICS. *Folha de dados do componente STM32F030F4*. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f030f4.pdf>>.

WOLLINGER, Leonardo Martins. *Monitoramento de Grãos: Uma Aplicação de IoT no Agronegócio*. 2018.

ZHU, Qian *et al. Iot gateway: Bridging wireless sensor networks into internet of things*. In: *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*. IEEE, 2010. p. 347-352.