

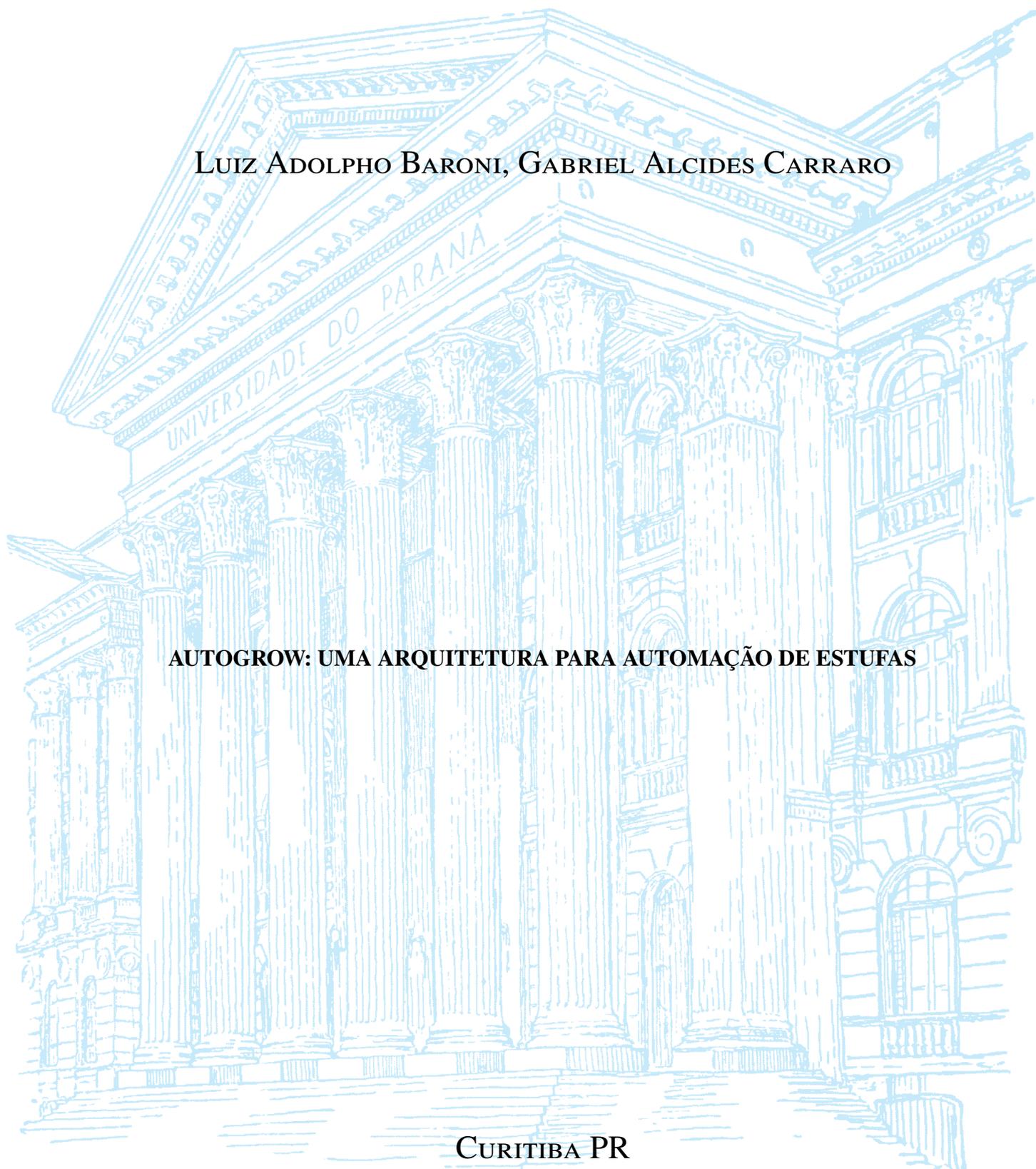
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ ADOLPHO BARONI, GABRIEL ALCIDES CARRARO

AUTOGROW: UMA ARQUITETURA PARA AUTOMAÇÃO DE ESTUFAS

CURITIBA PR

2018



LUIZ ADOLPHO BARONI, GABRIEL ALCIDES CARRARO

AUTOGROW: UMA ARQUITETURA PARA AUTOMAÇÃO DE ESTUFAS

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Pereira.

CURITIBA PR
2018

Ficha catalográfica

Substituir o arquivo 0-iniciais/catalografica.pdf (PDF em formato A4) pela ficha catalográfica fornecida pela Biblioteca da UFPR a pedido da secretaria do PPGInf/UFPR.

O conteúdo exato da ficha catalográfica é preparado pela Biblioteca Central da UFPR, a pedido da secretaria do PPGINF. Portanto, não "invente" um conteúdo para ela.

ATENÇÃO: por exigência da Biblioteca da UFPR, esta ficha deve ficar no verso da folha de rosto (que contém o nome do orientador e área de concentração). Cuide desse detalhe quando imprimir as cópias finais.

Ficha de aprovação

Substituir o arquivo 0-iniciais/aprovacao.pdf pela ficha de aprovação fornecida pela secretaria do programa, em formato PDF A4.

A alguém...

Agradecimentos

Ao nosso orientador, nossas famílias, amigos e colegas.

Resumo

Com os efeitos da mudança climática e o progressivo aumento populacional, a humanidade se vê na necessidade de repensar suas práticas e modos de vida. Nossos recursos naturais são limitados e há um aumento da busca por alimentos em todo o planeta. As Fazendas Verticais podem ser uma solução para estes problemas. Elas são estruturas que funcionam como estufas automatizadas para produção de alimentos, empilhados em prateleiras. Neste trabalho, nós apresentamos uma arquitetura para automação e controle de estufas, via internet, direcionada ao desenvolvimento de soluções para pessoas que queiram cultivar em casa seus próprios alimentos. Com o mínimo de interação e sem exigir formação técnica, nossa proposta permite o monitoramento das condições do clima dentro da estufa, o controle de atividades remotamente, a configuração e o agendamento de atividades para que ocorram automaticamente em horário pré determinado. Uma estufa piloto construída com base na arquitetura é apresentada como prova de conceito, e um estudo de caso é apresentado para comprovar a viabilidade da arquitetura.

Palavras-chave: arquitetura, automação, estufa, fazenda vertical, Internet das Coisas.

Abstract

With the effects of climate change and increasing population growth, mankind finds itself in need to rethink its practices and ways of life. Our natural resources are limited and there is an increased search for food across the planet. Vertical Farms can be a solution to these problems. They are structures that work like automated greenhouses for food production, stacked on shelves. In this work, we present an architecture for automation and control of greenhouses, via the Internet, directed to the development of solutions for people who want to grow their own food at home. With the minimum of interaction and without requiring technical training, our proposal allows the monitoring of the climate conditions inside the greenhouse, the control of activities remotely, the configuration and scheduling of activities to occur automatically at a predetermined time. A pilot greenhouse, built on the basis of our architecture, is presented as proof of concept, and a case study is presented to prove the feasibility of the architecture.

Keywords: architecture, automation, greenhouse, vertical farm, Internet of Things.

Lista de Figuras

3.1	Representação alto nível da arquitetura.	14
3.2	Representação da arquitetura na estufa piloto.	15
3.3	Visão geral do dispositivo portátil	19
3.4	Detalhe do hardware do dispositivo portátil	19
3.5	Visão interna da estufa protótipo	20
3.6	Detalhe do hardware da estufa protótipo	20
4.1	Telas de monitoramento e cadastro de um novo evento.	22
5.1	Resultados da primeira atividade.. . . .	28
5.2	Resultados da segunda atividade.. . . .	29
5.3	Resultados da terceira atividade.	29
5.4	Resultados da quarta atividade.. . . .	30
5.5	Resultados da quinta atividade.. . . .	30
5.6	Resultados da sexta atividade.	31

Lista de Tabelas

3.1	Estrutura para construção de normas	17
3.2	Exemplos de normas para o dispositivo proposto.	18
3.3	Comparação entre dispositivos piloto.	18
5.1	Objetivo do caso de estudo	24
5.2	Resultados do questionário de caracterização	28
7.1	Codificação gerada	39
7.2	Opiniões positivas.	39
7.3	Opiniões negativas	40
7.4	Sugestões, observações e utilidades.	40

Sumário

1	Introdução	10
2	As Fazendas Verticais	12
2.1	Trabalhos Relacionados	13
3	Autogrow: Arquitetura Proposta	14
3.1	Comunicação	15
3.2	Generalizando com Normas	16
3.3	Protótipo	17
3.4	Descrição do Software	17
4	Aplicação Web	21
5	Caso de estudo	23
5.1	Objeto do estudo	23
5.2	Contexto do objeto	23
5.3	Objetivo	23
5.4	Como o estudo foi conduzido	24
5.5	Ambiente e participantes	24
5.6	Questionário.	24
5.6.1	Questionário de Caracterização (Quem é você?)	24
5.6.2	Questionário de Atividades (Atividades com a Interface)	25
5.6.3	Questionário qualitativo (Feedback sobre a interface)	26
5.7	Execução	27
5.8	Resultados.	27
5.8.1	Resultados do Questionário de Atividades	27
5.8.2	Análise qualitativa	29
6	Conclusões	33
6.1	Problemas Encontrados e Possíveis Melhorias	33
	Referências	35
7	Apêndices	37

1 Introdução

Em um relatório apresentado em 2015 [16], a Organização das Nações Unidas (ONU) mostra como a população mundial irá passar de 7.3 bilhões em 2015 para 9.7 bilhões em 2050. Somado a esse aumento populacional, vem também um aumento da busca por alimentos, principalmente carne e produtos laticínios. Alguns especialistas da ONU até afirmaram que a produção mundial de alimentos precisaria dobrar para suprir essa alta na demanda [17]. Contudo, essa afirmação foi considerada exagerada [23]. O que se pode afirmar é que governos e pesquisadores devem focar os esforços em novos métodos de produção de alimentos, buscando obter um aumento na produção porém de maneira sustentável [11].

Entretanto, segundo relatório apresentado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) [10], aproximadamente 1/3 de toda a comida do mundo é perdida ou desperdiçada. Isto ocorre ao longo de todos os estágios da produção — desde a plantação, passando pelo transporte, até o consumidor final. Os alimentos são danificados durante a colheita, são mal transportados e sua aparência acaba os fazendo ser rejeitados pelo consumidor final. Grande parte deles ainda é própria para consumo, e toda essa perda se traduz em perda econômica para os produtores e revendedores, em menos comida chegando ao consumidor final e em impactos diretos ao meio ambiente.

Com isso em mente, devemos buscar técnicas sustentáveis, visando a redução do desperdício e o aumento da produção. Uma maneira de se reduzir o desperdício nos estágios iniciais da produção é trazer os locais de produção de alimento o mais perto possível dos centros consumidores.

A agricultura urbana e o uso de estufas, que já existe há algum tempo [21], consistem em levar a produção de alimentos para o entorno ou dentro dos centros urbanos. O uso de estufas favorece a produção agrícola, possibilitando o cultivo durante o ano todo, sem interferências das estações, também facilitando a produção orgânica, que tem como objetivo ser mais sustentável, gastando menos água e nutrientes e produzindo alimentos mais saudáveis, sem o uso constante de agrotóxicos. Dentro deste contexto, o conceito de fazenda vertical [8] vem como uma proposta que une estufas com agricultura urbana.

Esse novo paradigma de produção de alimentos propõe o uso de estruturas verticais em que o alimento é cultivado em andares. Estufas verticais podem dar um novo propósito a construções abandonadas, e trazem o alimento para perto dos consumidores. Somadas a soluções em *Internet of Things* (IoT) e de sensores, que evoluíram recentemente, existem estufas que são controladas e programadas para funcionar automaticamente, com o mínimo de interação humana. Automatizando o processo de irrigação e de controle de luz, por exemplo, é possível criar as condições perfeitas para o que se deseja produzir. Algumas empresas tem oferecido soluções nesse contexto [18, 2, 25].

Este trabalho está situado no contexto de fazendas verticais e explora a concepção de infraestrutura de automação na produção de alimentos. Para isso, apresentamos uma arquitetura para a automação e controle de estufas com sensores e atuadores, e com potencial de aplicação em outros contextos e ambientes, o Autogrow. Também mostramos um protótipo funcional

de estufa automatizada controlada via interface web, intermediada por um servidor, e por fim mostramos um caso de estudo realizado com participantes a fim de avaliar as funcionalidades propostas. Os resultados demonstram que a proposta é viável e possível de ser desenvolvida com tecnologias atualmente disponíveis.

2 As Fazendas Verticais

O conceito de fazendas verticais é atribuído ao Dr. Dickson Despommier [9] que, em 1999 enquanto lecionava na Universidade de Columbia em Nova York, desafiou seus alunos de uma turma de graduação a imaginar como alimentar a cidade de Manhattan cultivando arroz nos telhados da cidade. Eles descobriram que seria possível alimentar apenas 2% da população, então tiveram a ideia de empilhar andares em cima dos telhados [13].

Estruturas em forma de prateleiras permitem que o alimento seja cultivado com auxílio de luzes artificiais [8]. Na maioria das fazendas verticais se emprega a hidroponia, controlando os nutrientes e eliminando a necessidade de terra e adubo. Isso reduz o espaço necessário, pois em um pequeno pedaço de chão é possível empilhar várias vezes a área cultivável. Em um estudo de 2016 [24], pesquisadores concluíram que o cultivo vertical produz mais por área do que o tradicional método horizontal.

Em outro estudo [3], pesquisadores testaram a viabilidade econômica de se produzir frutas e vegetais utilizando fazendas verticais. Eles não apenas concluíram que se trata de uma técnica viável economicamente, como também demonstraram que em uma área de 0.25 hectares foram capazes de produzir 500 vezes mais alimentos do que seria possível com métodos tradicionais em uma área de mesmo tamanho.

Em 2015, pesquisadores dos EUA [5] compararam técnicas de hidroponia com técnicas convencionais, comparando a quantidade de água, de espaço e de energia utilizados. Com os resultados obtidos, é possível comprovar que a hidroponia gasta aproximadamente 10 vezes menos água e é capaz de produzir mais alimento com menos espaço quando comparado a métodos convencionais. Porém, o gasto de energia é maior na técnica hidropônica, podendo chegar até a 80 vezes mais que os métodos convencionais.

Em Tóquio, capital do Japão, a empresa *Tokyo Metro Co.* (Companhia de Metro de Tóquio) que opera o metro da cidade resolveu investir no cultivo de saladas e plantas criando a empresa *Tokyo Salad*(Saladas Tóquio)[20]. Eles cultivam folhas verdes e até ervas em um ambiente vedado e controlado, construído abaixo das linhas elevadas do metro. A produção é toda mecanizada, sem uso de solo ou fertilizantes.

Várias universidades do mundo já começaram a desenvolver pesquisas nessa área. A Universidade de Princeton [19] criou o Projeto Princeton Fazendas Verticais (PVFP) e estão realizando pesquisas para identificar o impacto ambiental do cultivo hidropônico com fazendas verticais e também buscam desenvolver um sistema que, por meio da coleta de dados das condições climáticas do ambiente e características físicas das plantas, regula automaticamente a quantidade de nutrientes liberados na água, a quantidade de luz e outros aspectos. A Universidade Wageningen, da Holanda, quer tentar descobrir se computadores são capazes de produzir comida tão bem quanto seres humanos. Para isso, criaram o *Autonomous Greenhouse Challenge* (Desafio da Estufa Autônoma) [22], um desafio em que cinco equipes diferentes tiveram que desenvolver o melhor algoritmo para cultivo automático de pepinos em estufas.

Com todo o exposto acima, percebemos que há muito a ser feito nessa área. Vemos que, mesmo que haja tecnologia disponível, o consumidor final ainda está distante dela, e sentimos a

necessidade de criar então uma solução de baixo custo e de fácil usabilidade. Nossa proposta de solução é aproximar a tecnologia do consumidor, permitindo que ele cuide de suas próprias plantas através de uma interface de automação de estufas simples de usar, podendo estar em casa ou longe dela, sem ter conhecimento de programação. Tudo isso com baixo custo, sendo possível a aplicação com qualquer planta ou estufa que já exista.

Considerando este contexto, no presente trabalho apresentamos uma arquitetura generalizável para automação de estufas em qualquer escala via internet. Então foi construído uma estufa piloto, com sensores e atuadores, capaz de ser controlada via uma interface web. A viabilidade da proposta foi identificada por meio da construção do protótipo funcional e de testes de usabilidade com 20 participantes.

2.1 Trabalhos Relacionados

Nesta seção apresentamos trabalhos com propostas ou objetivos parecidos ao nossos, uma breve análise sobre o que cada um apresenta e a relação com a proposta do nosso trabalho.

Moga et al. [15] apresentam uma proposta de arquitetura de baixo custo para monitoramento e controle remoto de estufas. Os autores levaram em consideração diversos fatores que são possíveis de se monitorar e de controlar em tempo real dentro de uma estufa. Eles conduziram ainda um teste com sensores e atuadores em um cenário real de estufa mostrando o funcionamento da arquitetura. Porém não levaram em consideração a facilidade de uso da solução proposta, e o público alvo foram justamente pessoas que já têm estufas ou que já cultivam alimentos.

Abdallah et al. [1] fizeram uma análise sobre o uso de tecnologia na produção de alimentos e dentro de estufas. O estudo foi realizado com engenheiros agrícolas que responderam um questionário sobre a participação e o uso de tecnologia na agricultura. A partir disso, os autores propuseram um sistema para controle e monitoramento remoto de estufas, utilizando sensores e atuadores. Também levaram em conta o baixo custo de implantação do sistema. Contudo, os autores não trouxeram um exemplo real desse sistema proposto, e a análise foi feita apenas com pessoas especialistas em agricultura.

Em ambos os trabalhos apresentados existe uma preocupação quanto ao custo monetário da solução, porém nenhum apresentou uma análise da facilidade de uso da arquitetura e nem experimentos reais com participantes. Neste trabalho, propomos uma arquitetura generalizável para controle e automação de estufas. Essa arquitetura tem por objetivo ser facilmente utilizável e entendível por pessoas leigas em programação e/ou com pouca disponibilidade de tempo, para que essas pessoas possam interagir com sua horta ou cuidar de suas plantas em casa por meio da internet, a um baixo custo de implantação. Apresentamos, também, um estudo de caso com participantes reais, utilizando um protótipo da arquitetura.

3 Autogrow: Arquitetura Proposta

A arquitetura é dividida em três partes: o Dispositivo, o Servidor e a Aplicação Web, cada uma com funções específicas. A Figura 3.1 apresenta uma forma genérica dessa arquitetura. O dispositivo conectado a um servidor via internet sendo controlado pela aplicação web, e as três partes se comunicando através de um protocolo de comunicação simples, que utiliza o padrão *publisher subscriber*, e leve, pois transmite apenas as mensagens introduzindo pouquíssimo *overhead* para seu funcionamento. O usuário poderá, utilizando a aplicação, programar gatilhos automáticos utilizando os sensores e os atuadores sem a necessidade de ter conhecimento técnico ou de programação. Por exemplo, o usuário deseja que as lâmpadas da estufa sejam acionadas caso a luminosidade do dia caia demais, então facilmente ele pode escrever uma norma na aplicação que lê o valor do sensor de luminosidade e aciona o atuador das lâmpadas.

A norma, explicada em 3.2, é o que rege um gatilho, e estes gatilhos ficam armazenados no banco de dados do servidor, que é o responsável por conferir os valores dos sensores e acionar os atuadores conforme o que está no gatilho. Para melhor organização do código da aplicação e eficiência na comunicação entre o dispositivo e o usuário, dividimos nossa arquitetura desta forma, e abaixo descrevemos suas respectivas responsabilidades:

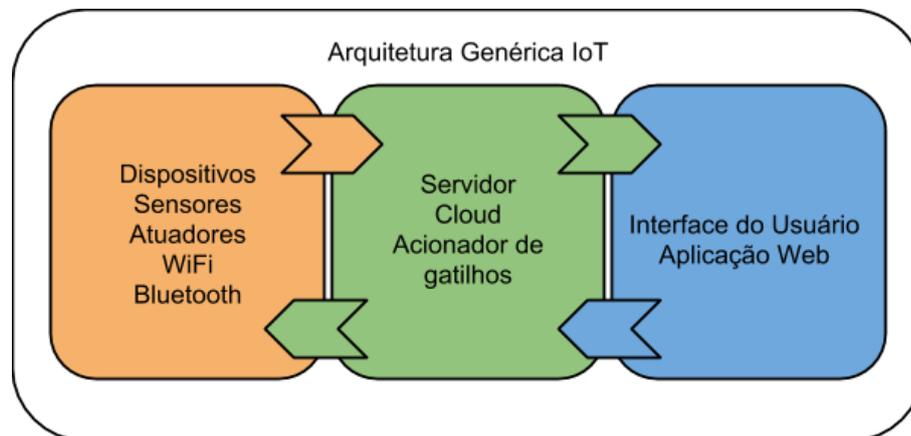


Figura 3.1: Representação alto nível da arquitetura.

O dispositivo do sistema é um microcontrolador/processador com uma interface GPIO (General Purpose Input/Output - Entrada/Saída de Propósito Geral), onde estão conectados os sensores e atuadores utilizados na estufa, sendo o responsável por receber os dados vindos dos sensores e por enviar os sinais para os atuadores. Os sensores são os responsáveis por fazer a leitura das condições físicas da estufa, como por exemplo um sensor de luminosidade que informa a quantidade de luz sendo recebida ou um sensor que informa a temperatura ambiente e/ou interna da estufa. Esses sensores podem ser analógicos ou digitais, sendo necessário um conversor de sinal Analógico para Digital caso o dispositivo escolhido não seja capaz de ler valores puramente analógicos. Os atuadores, por sua vez, são os responsáveis por interagir

com o mundo físico, podendo serem acionados diretamente por comando ou automaticamente conforme programado no sistema. Exemplos de atuadores são as lâmpadas que podem ser ligadas para suprir a necessidade de luz das plantas na estufa, ou uma bomba de irrigação que pode ser acionada para irrigar as plantas.

O servidor é a camada intermediária entre o usuário e o dispositivo, e onde estão localizadas as API's para o monitoramento e controle do dispositivo através da internet. Nele está o banco de dados que armazena os gatilhos que podem ser programados pelo usuário via aplicação web e que serão acionados automaticamente. O servidor é também o responsável pelo intermédio da comunicação entre o usuário e o dispositivo.

A aplicação web é a camada de interface com usuário, acessível via web. Nela são exibidos os valores coletados dos sensores (temperatura, umidade, luminosidade, etc.), o estado dos atuadores (se está ligado ou não) e os botões que permitem interação com os atuadores, sendo possível ligar ou desligar qualquer um deles a qualquer momento. Também faz parte da aplicação web a interface de programação de atividades, que permite ao usuário programar ações que serão realizadas automaticamente pelo servidor em conjunto com o dispositivo. A Figura 3.2 abaixo traz uma representação visual da arquitetura proposta.

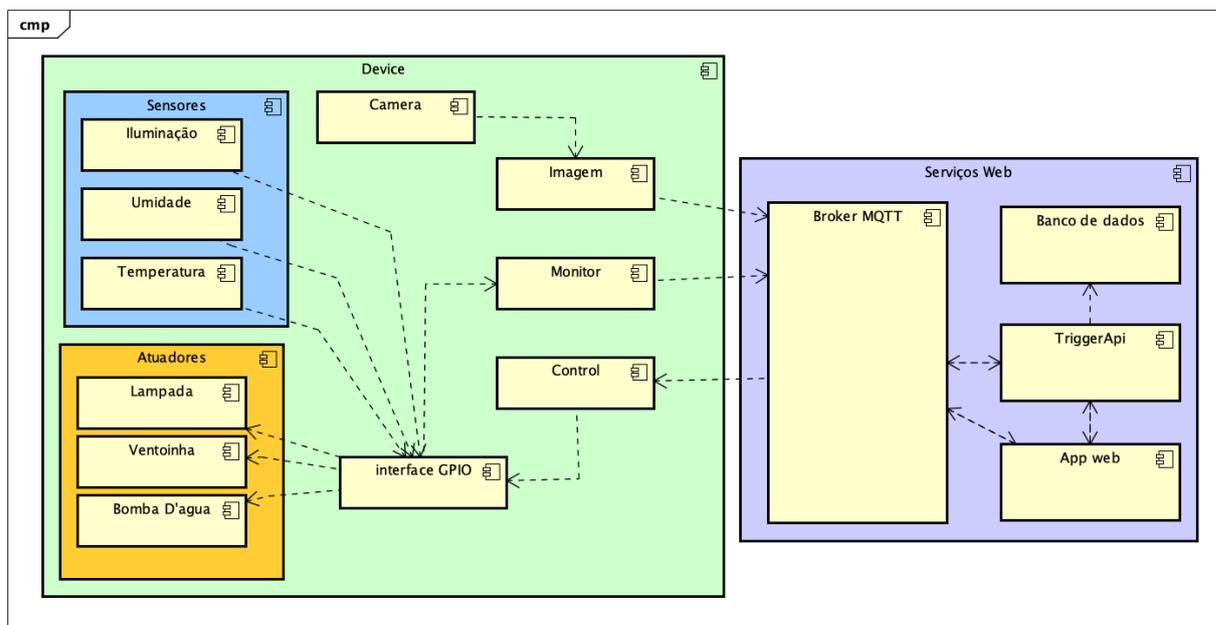


Figura 3.2: Representação da arquitetura na estufa piloto.

3.1 Comunicação

Toda a comunicação do dispositivo com as outras partes da arquitetura é feita utilizando o protocolo de comunicação MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) [4], que é um protocolo de aplicação leve, baseado na topologia *publish/subscribe* (publicar/inscrever) para envio de mensagens. Muito aplicado em cenários de comunicação remota entre dispositivos onde a quantidade de dados comunicados é reduzida e a largura de banda para comunicação é limitada. Diversas linguagens de programação proporcionam suporte às bibliotecas do protocolo MQTT, incluindo linguagens para dispositivos embarcados com ou sem sistema operacional (*baremetal*). Devido a sua versatilidade e compatibilidade, o protocolo MQTT tornou-se uma interessante escolha para comunicação de dispositivos via Internet.

Um sistema que utilize o protocolo MQTT [12] consiste de clientes se comunicando através de um servidor, também conhecido como *broker* (intermediário). O sistema funciona através de publicações e inscrições em tópicos. Todos os clientes inscritos em um tópico irão receber todas as mensagens publicadas para aquele tópico, sem saber quem mais está inscrito e sem necessariamente saber quem está publicando essa mensagem. Um cliente pode tanto se inscrever quanto publicar em quantos tópicos desejar. E o *broker* é o responsável por realizar o roteamento correto das mensagens publicadas para os inscritos.

Para nossa arquitetura, o protocolo MQTT foi escolhido por ter um *overhead* de mensagens baixo, e ser de fácil implementação. Permitindo assim mais velocidade para o monitoramento em tempo real, transmitindo os valores dos sensores e os comandos de maneira rápida entre o dispositivo e a interface web. O baixo *overhead* é necessário para manter a velocidade da troca de mensagens, por exemplo, se um comando de acionar a bomba de irrigação for enviado, o status da bomba deve retornar para a interface o mais rápido possível, evitando assim que o usuário tenha dúvidas quando ao estado dos atuadores. Já questões de segurança, referentes ao processo de comunicação, não são levantadas neste trabalho, ficando assim para trabalhos futuros.

3.2 Generalizando com Normas

As ações que uma estufa automatizada consegue realizar podem ser generalizadas com o uso de normas. Segundo as definições de von Wright[26] há vários tipos de normas, dentre elas as normas prescritivas, também relacionadas a comportamento técnico. Assim, podemos entender uma norma como uma regra técnica que indica o meio adequado para atingir um fim. Aqui utilizaremos as normas como regras que irão definir os comportamentos que a estufa deve ter. A forma mais genérica de regra comportamental é estruturada assim:

sempre que <condição for verdadeira>, *se* <declaração>, *então* <ação é executada>

Esta estrutura genérica dá liberdade para a construção de qualquer norma necessária na estufa. Os elementos que podem ser utilizados como <condições> a serem analisadas na norma podem ser os valores dos sensores, as horas do dia e também o estado dos atuadores (ligado/desligado). Por exemplo, sempre que for 06:00 da manhã, se as lâmpadas estiverem apagadas, então acenda as lâmpadas. Dessa forma garantimos a possibilidade de construção de qualquer norma genérica, que utilize sensores e atuadores. Podemos generalizar então a norma para:

sempre que <cond1> E/OU <cond2> ... *se* <decl1> E/OU <decl2>... *então* <ação1> E/OU <ação2>...

Em nosso teste piloto definimos um conjunto de sensores e atuadores que podem ser utilizados para construção das normas pelo usuário, utilizando uma tela na aplicação web. Nesta tela, o usuário terá a possibilidade de construir essas normas escolhendo 4 parâmetros principais de uma lista: 1. qual sensor será utilizado; 2. qual operador lógico deseja utilizar; 3. qual o valor de referência a ser comparado com o sensor; 4. qual ação a ser tomada quando o valor da operação lógica for verdadeiro. A Tabela 3.1 apresenta a estrutura padrão das normas possíveis de serem construídas pelo usuário em nosso caso de estudo. A Tabela 3.2 traz exemplos de normas prontas.

Esse formato de norma garante que o sistema dará conta do início e do fim da norma automaticamente. A cláusula *sempre que* funciona como um laço, que mantém a norma rodando até que a <condição> não seja mais verdadeira. Já em nosso caso de estudo, utilizamos uma versão simplificada da norma apresentada acima. Esta versão não possuía a cláusula *sempre que*, tendo o seguinte formato:

se <decl1> E/OU <decl2>... *então* <ação1> E/OU <ação2>...

	<sensor, atuador>	<operador>	<valor do sensor, estado do atuador>
Sempre que	{ temperatura, umidade, luminosidade }	{ =, <, > }	{ °C, %, lux }
	{ lâmpada, irrigador, ventoinha }	{ = }	{ ligado, desligado }
	{ horário }	{ =, <, > }	{ horário }
Se	{ temperatura, umidade, luminosidade }	{ =, <, > }	
	{ lâmpada, irrigador, ventoinha }	{ = }	{ ligado, desligado }
Então	{ lâmpada, irrigador, ventoinha }	{ = }	{ ligado, desligado }

Tabela 3.1: Estrutura para construção de normas

Por falta de tempo no desenvolvimento, e para tornar a implementação da interface web mais simples, decidimos por utilizar essa norma simplificada. Essa escolha deliberada levou a alguns problemas que foram identificados ao longo do desenvolvimento da arquitetura. Essa simplificação acabou resultando em um processo de criação de normas mais engessado, e menos fluido para o usuário. Ao excluirmos a cláusula *sempre que*, tiramos de nossa interface a capacidade de conferir se uma determinada norma já pode ser encerrada ou não. Futuramente, um trabalho pode ser realizado para comparar os dois formatos de normas.

3.3 Protótipo

Dois protótipos foram construídos para testar a arquitetura proposta, um modelo em formato de estufa e um modelo portátil utilizado para o experimento com participantes. A Tabela 3.3 apresenta uma comparação dos dois dispositivos. É possível ver os dispositivos construídos nas Figuras 3.3 a 3.6.

3.4 Descrição do Software

Em nosso estudo piloto, nosso dispositivo utiliza o *Raspbian*, um sistema operacional gratuito baseado no *Debian* e otimizado para o hardware do *Raspberry Pi*. Para controlar e monitorar os sensores e atuadores conectados ao dispositivo, criamos três componentes com funções distintas: (i) Controlador, (ii) Monitor, e (iii) Imagem.

O componente Controlador é o responsável por receber os comandos vindos da interface Web via MQTT e por acionar os atuadores conforme o comando recebido. O componente Monitor por sua vez, é encarregado de ler os valores vindos dos sensores e envia-los para que sejam exibidos na interface Web, também via MQTT. Já o componente Imagem é o que recebe o pedido por uma foto da estufa, em seguida retira a foto utilizando a *webcam*, e então envia para ser exibida na interface Web.

Sempre que	ventoinha	=	ligada
Se	temperatura	>	25°C
Então	irrigador	=	ligado
Sempre que	lâmpada	=	desligada
Se	luminosidade	<	2000lx
Então	lâmpada	=	ligado
Sempre que	horário	=	6:30
Se	irrigador	=	desligado
Então	irrigador	=	ligado
Sempre que	irrigador	=	desligado
Se	umidade	<	40%
Então	irrigador	=	ligado
Sempre que	irrigador	=	ligado
Se	umidade	>	80%
Então	irrigador	=	desligado
Sempre que	ventoinha	=	desligado
Se	temperatura	>	25°C
Então	ventoinha	=	ligado
Sempre que	ventoinha	=	ligado
Se	temperatura	<	20°C
Então	ventoinha	=	desligado

Tabela 3.2: Exemplos de normas para o dispositivo proposto

Dispositivo	Modelo Estufa	Modelo Portátil
Hardware	Raspberry Pi 2 Model B: - CPU 900MHz quad-core ARMv7 Cortex-A7 - 1GB RAM DDR2 - 8GB microSD Class 4 - USB 802.11n wireless LAN - SO: Raspbian 4.14	Raspberry Pi 3 Model B+: - CPU 1.4GHz ARMv8 Cortex-A53 - 1GB RAM DDR2 - 32GB microSD Class 4 - 2.4GHz 802.11 wireless LAN - SO: Raspbian 4.14
Sensores	- DHT11 - Sensor de temperatura e umidade do ar - LDR - Sensor de luminosidade - YL-39: Sensor de umidade do solo	- DHT11 - Sensor de temperatura e umidade do ar - BH1750 - Sensor de luminosidade
Atuadores	- 4x Lâmpadas LED 16W - 4x Ventoinhas 12v - 1x Bomba de aquário	- 1x Lâmpada LED 9W - 1x Ventoinha 12v

Tabela 3.3: Comparação entre dispositivos piloto

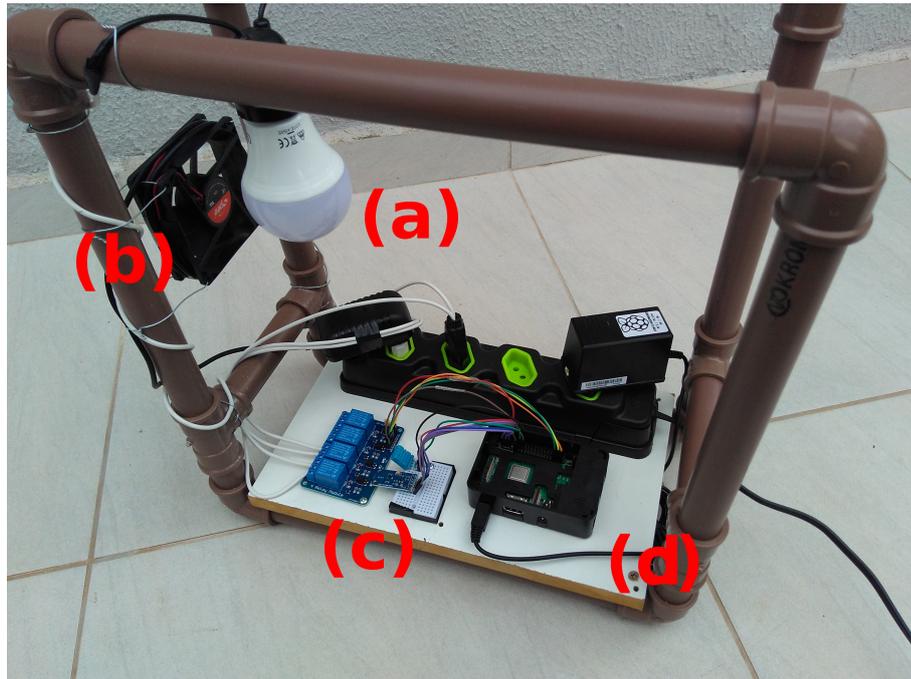


Figura 3.3: Visão geral do dispositivo portátil

(a): Lâmpada (b):ventoinha (c):sensores/atuadores (d):raspberrypi

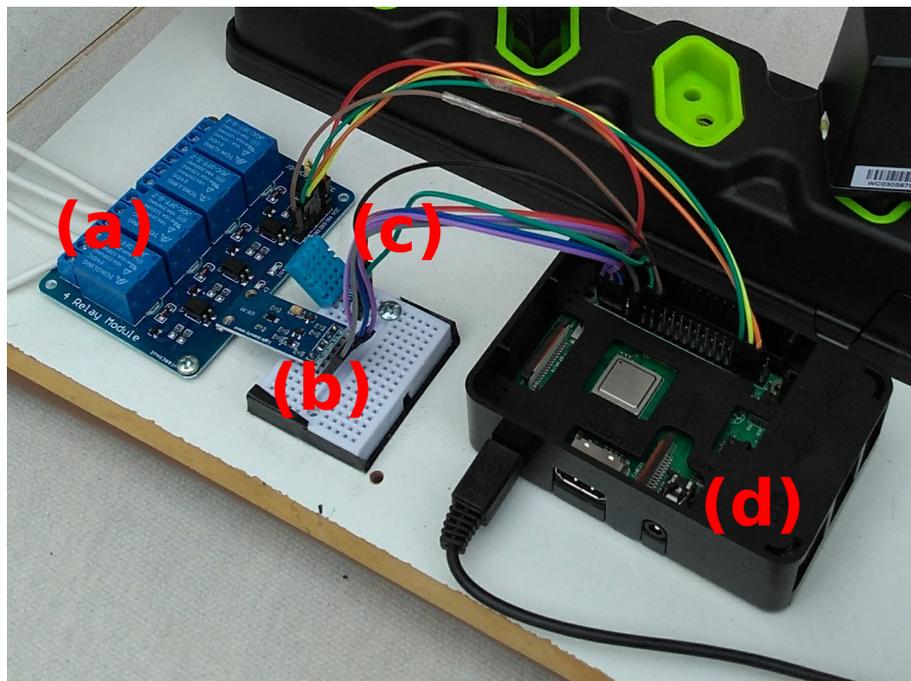


Figura 3.4: Detalhe do hardware do dispositivo portátil

(a): Módulo rele 4 canais (b):Sensor de luminosidade BHT1750 (c):Sensor de temperatura DHT11
(d):raspberrypi

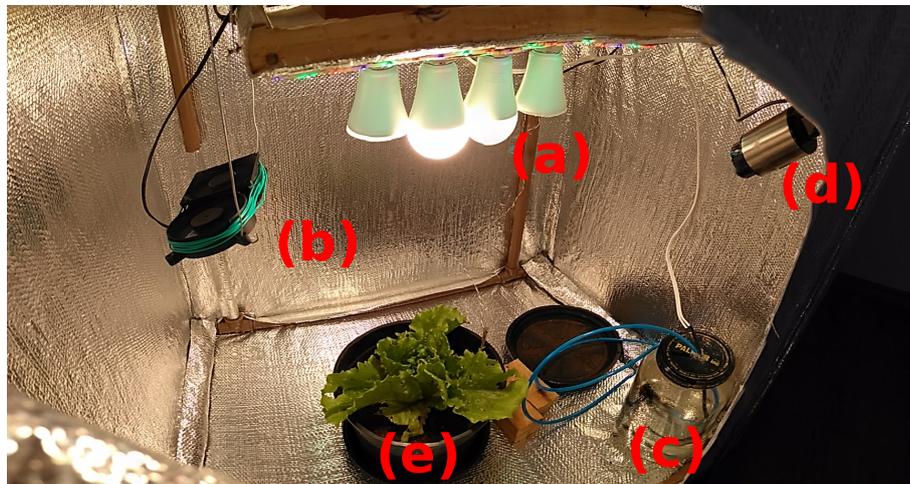


Figura 3.5: Visão interna da estufa protótipo

(a): Lâmpadas (b):Ventoinhas (c):Bomba de água e recipiente (d):Câmera (e):Planta de alface

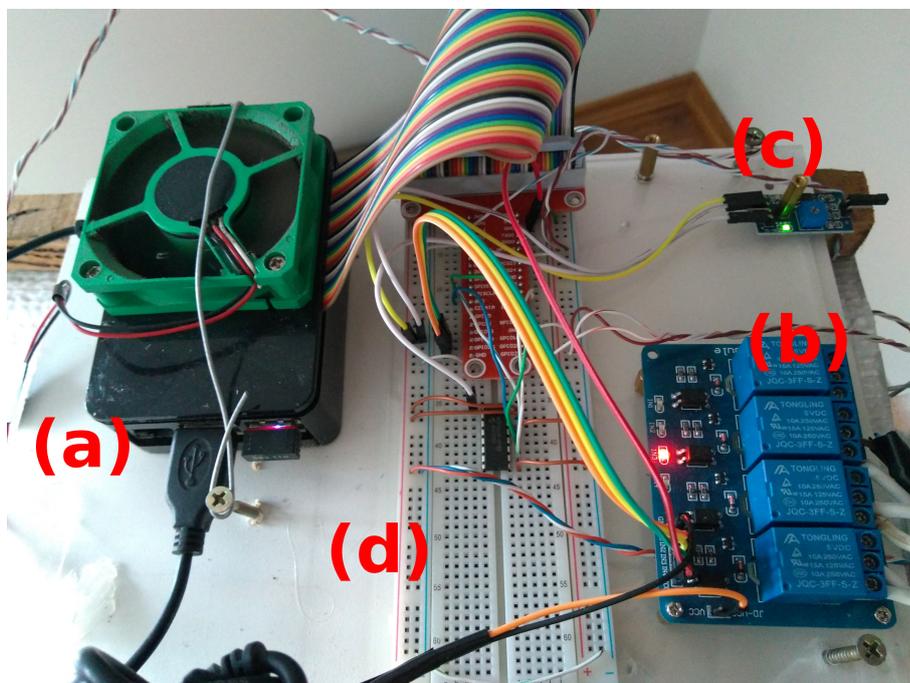


Figura 3.6: Detalhe do hardware da estufa protótipo

(a): raspberrypi (b):Módulo rele (c):Sensor de umidade do solo (d):placa protoboard

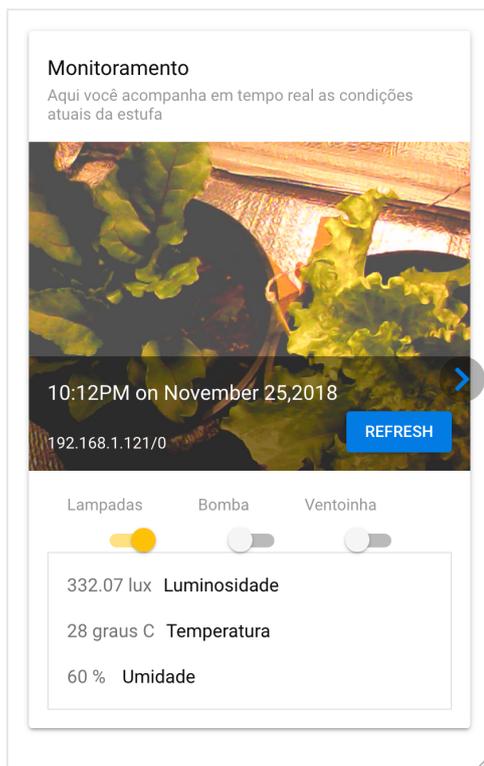
4 Aplicação Web

Nesta seção descrevemos como a aplicação web foi planejada e construída. A interface de usuário foi mantida simples, com duas partes principais: A primeira tela permitindo o monitoramento e alteração manual do estado dos atuadores, e a segunda trazendo a funcionalidade de configuração de eventos.

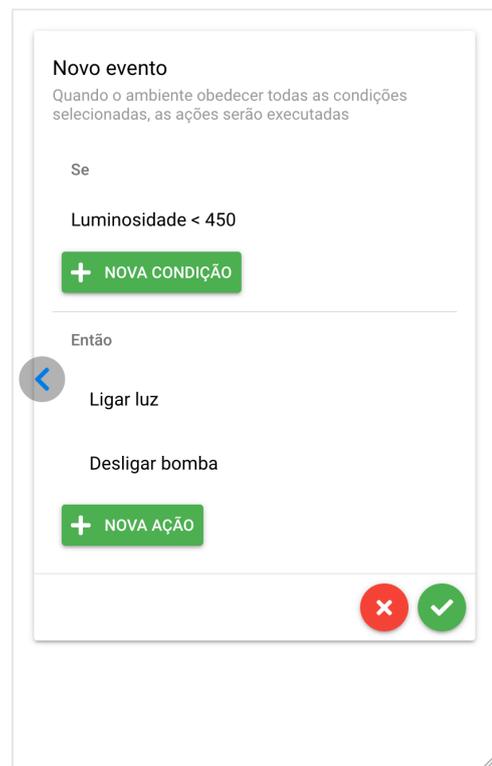
Na tela de monitoramento, encontra-se uma imagem do ambiente da estufa, podendo tirar uma nova foto à qualquer momento, os valores dos sensores atualizados em tempo real, e botões para a alteração do estado dos atuadores.

O cadastro de eventos possibilita ao usuário configurar condições a serem analisadas, e ações para serem executadas quando essas condições são atendidas, possibilitando a configuração de um evento conforme a generalização apresentada na seção 3.2. Os eventos são cadastrados e monitorados através da *TriggerApi*.

Para que se obtenha uma resposta rápida às mudanças do ambiente, a cada 3 segundos a entidade monitor publica um *snapshot* do ambiente, com o valor atual de todos os sensores, acionando a *TriggerApi*, que irá testar os gatilhos cadastrados. Para cada gatilho cadastrado, todas as condições são analisadas, testando as cláusulas *se* cadastradas pelo usuário para o gatilho. Quando o *snapshot* atende as condições especificadas nas cláusulas *se*, um sinal é enviado para que a estufa altere seu estado através das ações configuradas, atendendo a cláusula *então* da norma, causando o evento cadastrado. Com a utilização das normas simplificadas, as ações apenas garantem a ativação do gatilho, não desfazendo uma ação após uma condição deixar de ser atendida. Dessa forma, nesse projeto piloto, é responsabilidade do usuário garantir que outra regra para desfazer certa ação esteja cadastrada. A cláusula *sempre que* poderia ser utilizada na aplicação para que esse comportamento fosse atendido.



(a) Monitoramento



(b) Novo evento

Figura 4.1: Telas de monitoramento e cadastro de um novo evento

5 Caso de estudo

Nesta seção descrevemos o planejamento do caso de estudo realizado com participantes que exploraram a interface web de monitoramento e configuração da estufa. Em seguida, detalhamos como foi executado o estudo, e apresentamos os resultados e as análises quantitativa e qualitativa feitas sobre eles.

5.1 Objeto do estudo

O objeto estudado é a aplicação web para controle e programação remota de estufas apresentada anteriormente.

5.2 Contexto do objeto

Testamos a arquitetura proposta utilizando um modelo piloto, construído com sensores e atuadores disponíveis comercialmente na Internet e em lojas locais de componentes eletrônicos. Para controlar esse dispositivo desenvolvemos uma aplicação web que funciona como interface de programação e controle remoto. Esta interface permite aos usuários o monitoramento de informações e o controle das condições em tempo real, e também permite programar atividades para serem realizadas automaticamente pela estufa, como por exemplo acender as lâmpadas ou irrigar a planta, sem que o usuário tenha conhecimento técnico sobre a infraestrutura do sistema.

Este caso de estudo tem como objetivo avaliar a Usabilidade da interface como um todo e das funcionalidades propostas.

Principais aspectos a serem analisados:

- Conhecimento prévio do usuário: Analisaremos o conhecimento prévio do participante à respeito do uso de Internet, aplicativos e cultivo de plantas;
- Corretude da ideia proposta : Queremos observar se o participante é capaz de identificar sobre o que se trata o objeto do caso de estudo, conhecendo o contexto da aplicação;
- De acordo com o planejado: Queremos saber se as funcionalidades pensadas na elaboração da interface são identificáveis pelo participante;
- Facilidade geral de uso: Também queremos saber quão fácil é utilizar a interface do ponto de vista do participante;

5.3 Objetivo

O caso de estudo se dará por meio de atividades que devem ser realizadas pelo participante. Cada atividade tem um objetivo mais específico ou trata de alguma funcionalidade

Analisar	a interface para controle e programação remota de estufas
Com o propósito de	avaliar/categorizar
Em relação a	usabilidade das funções propostas e a experiência do usuário
Do ponto de vista de	dos desenvolvedores da interface
No contexto de	alunos de graduação da UFPR

Tabela 5.1: Objetivo do caso de estudo

específica do sistema. Nosso objetivo principal é testar a Usabilidade, a Utilidade e a Facilidade de Uso da arquitetura para controle e programação de estufas remotamente.

Seguindo o paradigma GQM (Goal-Question-Metric) [6], definimos o objetivo deste caso de estudo conforme consta na Tabela 5.1.

5.4 Como o estudo foi conduzido

O caso de estudo foi conduzido em um ambiente controlado, com o mínimo de influências externas possível. O participante recebeu um questionário online e, primeiramente, teve que ler e aceitar um breve termo de consentimento. Então, cada participante foi instruído a ler o questionário e cumprir o que se pede. Primeiramente, um questionário de caracterização foi preenchido, a fim de categorizar os participantes com base em seus conhecimentos prévios. Depois, o participante teve que realizar uma série de ações descritas, cada uma por um cenário de uso, e em seguida teve que avaliar a facilidade de realização dessas atividades usando uma escala Likert [14]. Por fim, um questionário foi aplicado a fim de se obter uma análise qualitativa dos resultados.

5.5 Ambiente e participantes

Utilizamos uma abordagem não probabilística por amostragem conveniente para selecionar 10 (dez) participantes não especialistas, e outros 10 (dez) participantes especialistas em testes de interface. O estudo foi realizado em um ambiente controlado e com acesso a internet. Foram colocados à disposição dos participantes: um computador para preenchimento do questionário online, um celular smartphone para acessar a interface web, e um dispositivo modelo construído para este estudo.

5.6 Questionário

O questionário apresentado aos participantes foi dividido em três partes: Questionário de Caracterização do participante, de Atividades a serem conduzidas, e Questionário Qualitativo. Apresentamos mais detalhes e os objetivos de cada um a seguir. O questionário também está disponível online no seguinte endereço: <http://bit.ly/questionarioautogrow>.

5.6.1 Questionário de Caracterização (Quem é você?)

Objetivo: caracterizar e categorizar o conhecimento prévio dos participantes.

1. Idade:

2. Escolaridade:
3. Curso de Formação:
4. Frequência de uso da Internet:
 - Pouco - Usa pouco a internet;
 - Médio - Usa algumas vezes a internet;
 - Muito - Usa com frequência a internet;
5. Você tem plantas em casa?
 - Sim
 - Não
6. Experiência com programação?
 - Nenhuma - “Nunca programei.”
 - Pouca - “Já aprendi alguma coisa mas não usei.”
 - Média - “Já programei com excel.”
 - Alta - “Programo com frequência”
7. Experiência com cultivo de alimento:
 - Pouca - “Uma vez eu plantei um feijão no algodão.”
 - Média - “Tenho vasilhinhos de tempero em casa.”
 - Alta - “Já colhi minha alface essa semana.”

5.6.2 Questionário de Atividades (Atividades com a Interface)

Neste questionário, o participante avalia a facilidade de uso de funções específicas da interface a partir de atividades pré-determinadas. Cada atividade tem como base um cenário que pode ocorrer na vida real. A seguir estão detalhadas todas as atividades:

Atividade 1: Navegar pela interface

Objetivo: Entender se o objetivo desta interface é claro para o participante.

Descrição da tarefa: Navegue por alguns minutos pelo site, para conhecer o ambiente.

Atividade 2: Funcionalidade 1 - Ligar/Desligar Luzes

Objetivo: Entender se é claro para o participante como interagir diretamente com a estufa.

Cenário: Hoje não fez sol, e você quer ligar as lâmpadas de sua estufa para que suas plantas não fiquem sem luz.

Descrição da tarefa: Descubra como acionar as luzes da estufa.

Atividade 3: Funcionalidade 1.2 - Ligar/Desligar Bomba de irrigação

Objetivo: Entender se é claro para o participante como interagir diretamente com a estufa.

Cenário: Você saiu de casa e esqueceu de regar sua planta:

Descrição da tarefa: Descubra como acionar a bomba de irrigação da estufa.

Atividade 4: Funcionalidade 1.3 - Ligar/Desligar Ventoinhas

Objetivo: Entender se é claro para o participante como interagir diretamente com a estufa.

Cenário: Você conferiu a temperatura da estufa e viu que está 30°C:

Descrição da tarefa: Descubra como acionar as ventoinhas de entrada e saída de ar da estufa.

Atividade 5: Funcionalidade 2 - Agendar atividades

Objetivo: Entender se é claro para o participante como agendar ações.

Cenário: A previsão é de tempo fechado para os próximos dias, mas você não quer que suas plantas fiquem sem luz, então você quer programar a estufa para acionar as lâmpadas automaticamente em caso de pouca luz durante o dia.

Descrição da tarefa: Descubra como agendar uma ação para acender as lâmpadas caso esteja escuro.

Atividade 6: Funcionalidade 3 - Agendar atividade baseado nos sensores

Objetivo: Entender se é claro para o participante como agendar ações.

Cenário: Você deseja programar a estufa para cuidar de um pé de alface automaticamente para você, isso inclui programar o ciclo de luz, os horários de rega e a temperatura ambiente.

Descrição da tarefa: Tente programar a estufa para que ela cuide de um pé de alface.

E após realizar cada atividade, foi solicitado ao participante que avaliasse a atividade utilizando uma escala Likert, apresentada a seguir, seguido de uma pergunta aberta para comentários gerais:

1. Você conseguiu realizar a tarefa com facilidade?

- Concordo Totalmente.
- Concordo Parcialmente.
- Não concordo nem discordo.
- Discordo Parcialmente.
- Discordo Totalmente.

2. Deixe algum comentário sobre esta atividade.

5.6.3 Questionário qualitativo (Feedback sobre a interface)

Objetivo: Neste questionário queremos extrair dados qualitativos quanto a Facilidade de Uso e a Utilidade da interface.

1. Descreva como foi aprender a navegar pela interface.
2. Encontrou alguma dificuldade no uso da interface?
3. Na sua opinião, essa interface ajuda a controlar e programar remotamente uma estufa? De que forma?
4. O que você gostou?

5. O que você não gostou?
6. Você usaria essa interface no seu dia a dia?

5.7 Execução

O caso de estudo foi realizado com 20 participantes divididos em 2 grupos: *Grupo A* formado por 10 participantes não especialistas em testes de interface, alunos de graduação da Universidade Federal do Paraná, e o *Grupo B* formado por 10 especialistas em testes de interface, pessoas que possuem conhecimento avançado em identificação de elementos de interfaces humano-computador. O experimento foi realizado em um ambiente controlado a fim de minimizar as intervenções. O dispositivo modelo portátil apresentado na seção 3.3 foi disponibilizado para ser controlado e programado pelo participante durante o teste, representando uma estufa de verdade. Um pesquisador esteve presente ao lado do participante para sanar quaisquer dúvidas durante a execução do estudo.

A interface foi avaliada em um celular fornecido aos participantes com acesso a Internet, em frente ao dispositivo modelo, permitindo assim uma resposta visual instantânea. Um formulário foi fornecido aos participantes, que o leram e realizaram as atividades descritas na seção anterior. Cada participante teve tempo livre para realizar todas as atividades solicitadas. Ambos os grupos testaram a mesma interface no mesmo ambiente com o mesmo dispositivo modelo.

5.8 Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados de cada grupo e ao fim comparamos os dois apresentando uma análise qualitativa dos dados obtidos. A Tabela 5.2 traz um resumo dos dados obtidos com o questionário de caracterização, comparando os Grupo A e B.

5.8.1 Resultados do Questionário de Atividades

Nesta seção apresentamos uma análise quantitativa comparando os dados obtidos com o questionário de atividades aplicado aos Grupos A e B. As Figuras 5.1 a 5.6 apresentam um resumo das respostas comparando os dois grupos.

Como cada atividade do questionário tinha um objetivo específico, a partir desses resultados foi possível fazermos uma análise sobre cada atividade. A atividade 1 tinha como objetivo descobrir se os participantes entenderam sobre o que se trata a interface. Pela Figura 5.1, é possível concluir que 80% dos participantes do Grupo A concordaram que saberiam explicar sobre o que se trata a interface em questão, enquanto que todos do Grupo B concordaram que saberiam explicar. Com isso concluímos que nossa interface web é de fácil reconhecimento por especialistas e não especialistas.

As atividades 2, 3, e 4 tinham como objetivo descobrir se utilizar as funcionalidades de controle remoto da estufa, acionando os atuadores através de botões, era uma atividade fácil de ser realizada pelo usuário. Segundo as Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 as atividades foram facilmente concluídas por quase todos os participantes dos Grupos A e B. Com exceção de um participante do grupo B que comentou: “Dicas de usabilidade e quais as possibilidades de ação, (lidar com as expectativas)”. Chegamos a conclusão de que o participante em questão esperava mais dicas na interface. Portanto é possível afirmar que, apesar da falta de dicas, as funcionalidades de Ligar e

Grupos	Grupo A	Grupo B
Idades	Entre 20 e 39 anos, com média de 25 anos.	Entre 23 e 31 anos, com média de 25 anos.
Escolaridade	Superior Incompleto - 70% Superior Completo - 20% Pós, Mestrado ou Doutorado - 10%	Superior Incompleto - 10% Superior Completo - 20% Pós, Mestrado ou Doutorado - 70%
Formação	Todos os participantes são de áreas relacionadas à computação.	Todos os participantes são de áreas relacionadas à computação
Frequência de Uso da Internet	Todos os participantes afirmam possuir Muita frequência de uso da internet.	Todos os participantes afirmam possuir Muita frequência de uso da internet
Experiência com Programação	Todos os participantes afirmam ter Alta experiência com programação.	Alta - 60% Média - 40%
Se tem plantas em casa	80% Afirmam ter plantas em casa.	70% Afirmam ter plantas em casa.
Experiência com cultivo de alimentos	Muita - 10% Média - 20%, Pouca - 60% Nenhuma - 10%	Muita - 20% Média - 30%, Pouca - 40% Nenhuma - 10%

Tabela 5.2: Resultados do questionário de caracterização

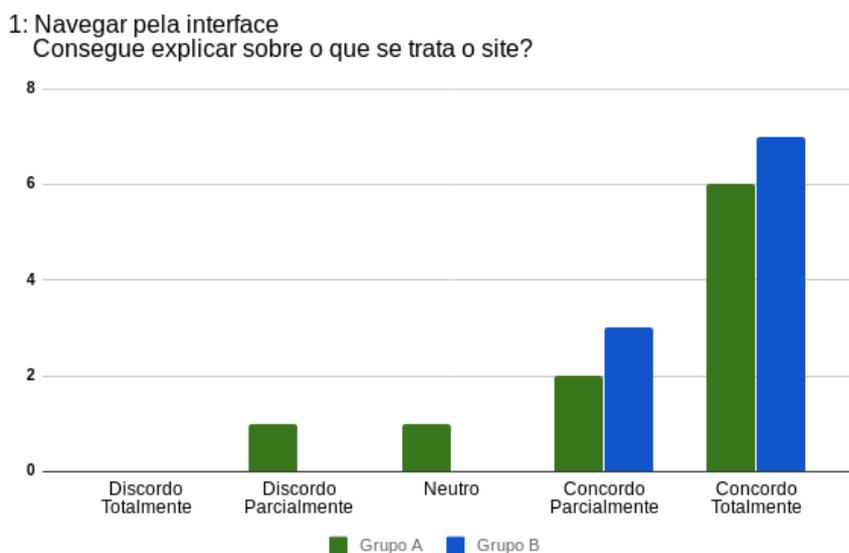


Figura 5.1: Resultados da primeira atividade.

Desligar diretamente os atuadores da estufa são de fácil uso por especialistas e não especialistas.

Para as atividades 5 e 6, o foco era analisar a facilidade do usuário em programar ações na estufa configurando gatilhos que irão acionar as normas. Nas Figuras 5.5 e 5.6 é possível ver que, diferente das outras atividades, aqui os participantes tiveram um pouco mais de dificuldade em ambos os grupos. Apesar da dificuldade aparentemente maior, 80% dos participantes do

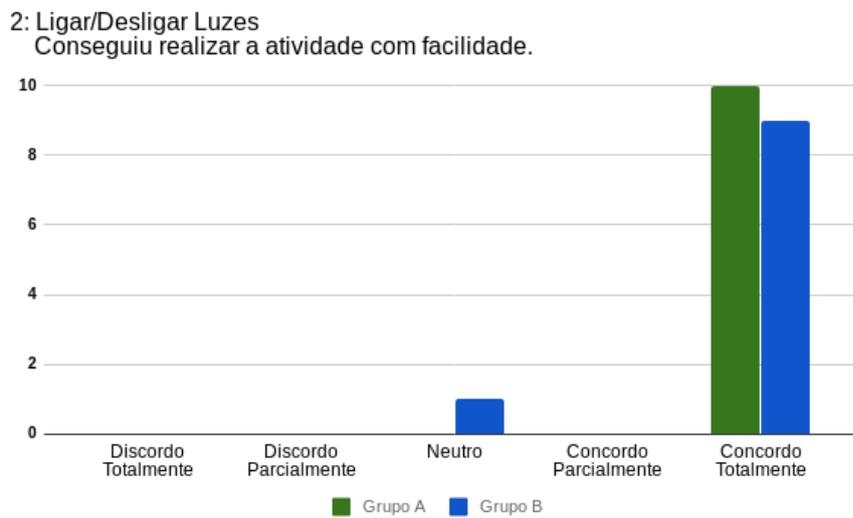


Figura 5.2: Resultados da segunda atividade.

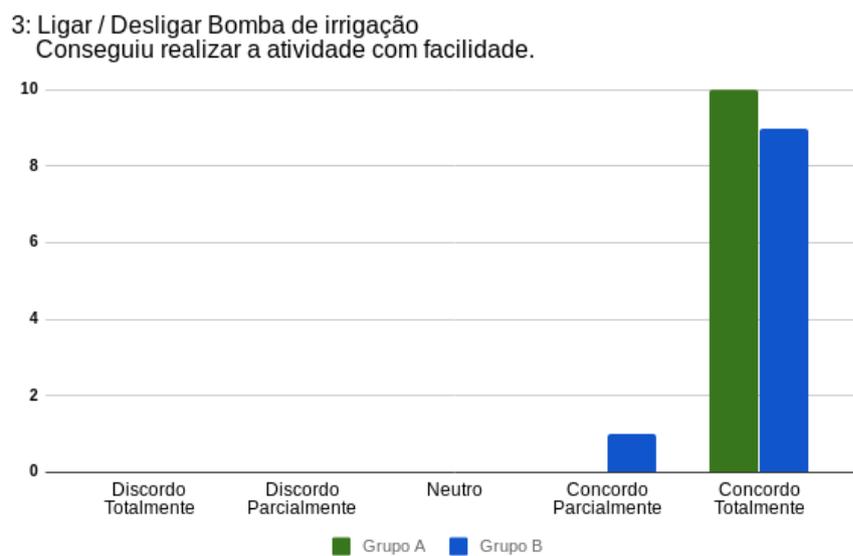


Figura 5.3: Resultados da terceira atividade.

grupo A conseguiram realizar a atividade 5 com facilidade, e 70% deles realizaram a atividade 6 também com facilidade. Já no Grupo B, 70% dos participantes tiveram relativa facilidade na atividade 5, e na atividade 6 o número subiu para 80% dos participantes.

A partir de todos esses resultados é possível afirmar que, tanto para o Grupo A de não especialistas quanto para o Grupo B de especialistas, a interface proposta teve sua usabilidade comprovada, porém programar ações na estufa pode ser melhorado.

5.8.2 Análise qualitativa

No questionário de Feedback os participantes escreveram suas opiniões pessoais acerca das funcionalidades e da arquitetura proposta. A análise qualitativa foi baseada nos procedimentos de *Grounded Theory* [7].

A partir das respostas obtidas, utilizamos um subconjunto das etapas propostas por [7]:

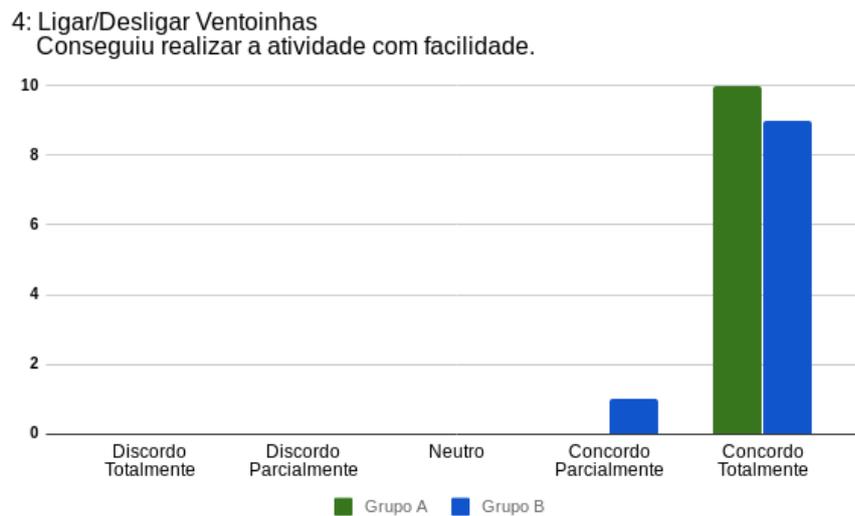


Figura 5.4: Resultados da quarta atividade.

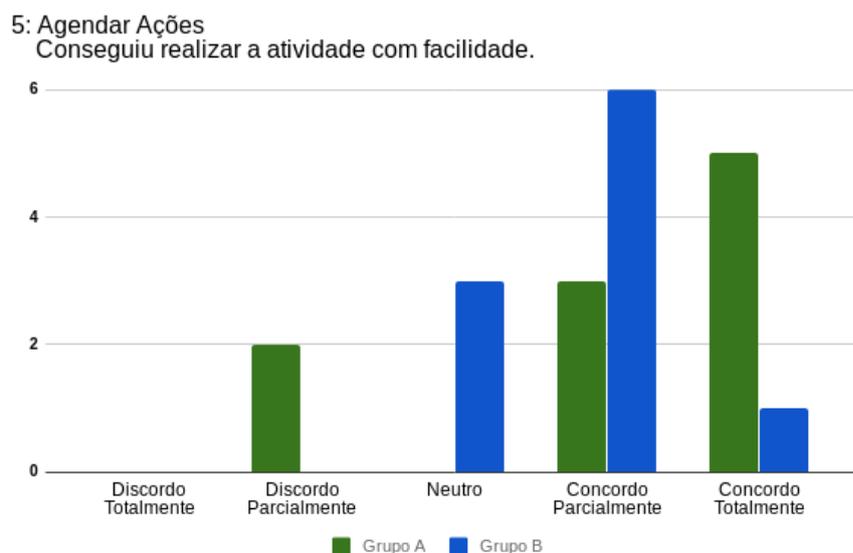


Figura 5.5: Resultados da quinta atividade.

foram realizadas uma codificação (1ª etapa) e uma codificação axial (2ª etapa). Primeiramente, as opiniões pessoais dos participantes foram analisadas e codificadas a partir de elementos-chave encontrados no questionário qualitativo. Então agrupamos os códigos criados em categorias e subcategorias que melhor expressam essas opiniões, para facilitar a análise, correlacionando-os. A Tabela 7.1 contém todos os códigos criados durante a fase de codificação da análise qualitativa e as Tabelas 7.2, 7.3 e 7.4 trazem uma categorização desses códigos. Esta análise tem por objetivo mostrar a utilidade percebida da interface pelos participantes, assim como a sua facilidade de uso percebida.

Categorizamos os comentários dos participantes em Opiniões Positivas e Negativas, Sugestões, Comentários e Utilidade Percebida. A primeira questão (Descreva como foi aprender a navegar pela interface) forneceu uma boa visão sobre a Facilidade de Uso da interface. Quatorze dos participantes expressaram facilidade e tranquilidade ao aprender a navegar, e muitos dos participantes afirmaram ser :"*Fácil e intuitivo*". No geral, a parte de controle e monitoramento

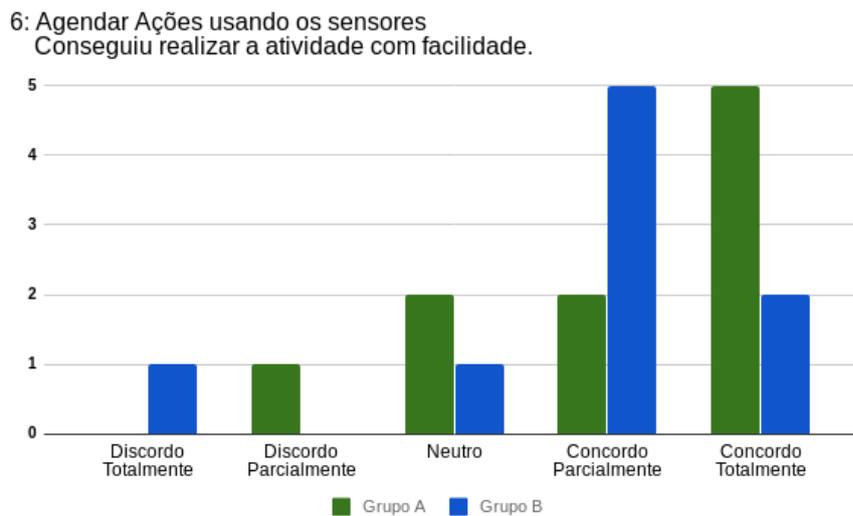


Figura 5.6: Resultados da sexta atividade.

da interface teve uma boa aceitação pelos participantes. Segundo um deles: "*Foi muito fácil a tela inicial, com os botões e as informações. Gostei muito*". Porém, 5 dos participantes expressaram certa dificuldade para utilizar o programador de eventos da estufa: "*A parte inicial está intuitiva (ligar luz, ventoinha, bomba). Mas a parte de eventos tive que fazer por tentativa e erro. Demorei a aprender*". Portanto, no geral, a interface é fácil de ser reconhecida e o aprendizado é relativamente fácil e tranquilo. Porém, há necessidade de melhorias de usabilidade que sugeriram como a interface de configuração das normas pode ficar mais compreensível para o usuário.

Na segunda questão (Encontrou alguma dificuldade no uso da interface?) é possível encontrar fatores que levaram a dificuldade de alguns participantes com a interface. A maioria não expressou maiores dificuldades: 11 participantes disseram não ter encontrado nada que dificultasse, segundo um deles: "*Não, pois a interface ajuda o usuário a efetuar as atividades, mesmo se for alguém que não entende muito de informática*". Do restante, 8 participantes relataram algum empecilho envolvendo a parte de programar eventos para a estufa. Citando alguns: "*Apenas na função de criar regras, que houve estranhamento inicial.*", "*Sim, no momento de criar regras... pois a interface não possuía informações de como criar uma.*", e "*Não muita, porém demorei um pouco para entender as condições e alguns botões.*". A maioria relatou que não teve dificuldades ou que teve apenas na hora de programar eventos na estufa, portanto é possível confirmar a Facilidade de Uso do controle remoto da interface. Porém a programação remota da estufa necessita de ajustes.

A terceira pergunta (Na sua opinião, essa interface ajuda a controlar e programar remotamente uma estufa? De que maneira?) traz uma ideia da Utilidade Percebida pelos participantes e de que maneira eles percebem essa utilidade. Todos os 20 participantes responderam que Sim, a interface ajuda a controlar e programar remotamente uma estufa. Todos os participantes de fato perceberam a utilidade do controle remoto e do monitoramento em tempo real das condições da estufa: "*Sim, é uma solução completa, posso ver a planta e controlar os sensores de maneira simples*", "*Sim, essa interface ajudaria a controlar uma estufa remotamente.*" Alguns outros mencionam a automatização de funções através da programação: "*Auxiliou, automatizando funções.*", "*Sim, pode programar as condições ideais, estilo if this than that*".

Na quarta questão (O que você gostou na interface?), as respostas foram mais curtas e

diretas, todos os participantes expressaram opiniões positivas, e 16 deles afirmaram que gostaram da simplicidade e facilidade de utilizar as funções propostas: *"Ela é bem simples e clean!"*, *"Simplicidade. É possível fazer o controle em apenas 3 paginas de navegação."*, *"Gostei da facilidade de uso, sem muitos segredos. Acredito que qualquer usuário poderia utilizar."*. Podemos concluir que a experiência com a interface como um todo foi boa e positiva para todos os participantes.

Com a quinta pergunta (O que você não gostou na interface?) podemos notar que a falta de guias e tutoriais na interface trouxe incômodo para alguns participantes, alguns também se incomodaram com a forma de programar eventos. Dos participantes, 6 trouxeram queixas quanto a falta de apoio: *"Falta de guias intrínsecos a interface - onde ir para fazer o que"*, *"Não gostei da ausência de tutorial/falta de menus e títulos para melhor identificação das outras funcionalidades do aplicativo"*, e *"Faltam mensagens e alertas informando sobre as ações no sistema."*. Quatro participantes não gostaram da aparência visual da interface: *"Poderia ser mais bonita"*, *"... Estética."*. E 7 deles tiveram dificuldade em programar eventos: *"a parte de agendar tarefas por condições"*, *"difícil de entender como o agendamento lida com confirmações"*.

A sexta questão do questionário qualitativo (Você usaria essa interface no seu dia a dia?) referia-se a Utilidade Percebida. Dos 20 participantes, 18 expressaram que sim, utilizariam a interface, e um deles afirmou até que utilizaria para automatizar outras funções: *"Sim, principalmente para agendar as tarefas de cuidado com a horta em momento de férias e/ou viagens. Ainda, utilizaria a ideia de automação para controlar outras coisas na casa, como luz, ar-condicionado, cortinas, entre outros."* Os 2 participantes que não usariam disseram: *"Não, mas com poucas melhorias sim. A usabilidade está boa, só carece de algumas melhorias no design"* e *"não, eu não possuo uma estufa e as poucas plantas que tenho posso cuidar na mão"*. Disso podemos concluir que, no geral a, utilidade da interface proposta é percebida pelos usuários, e que os maiores problemas que ocorreram durante o teste de caso tem relação com a parte visual da interface.

Portanto, com os resultados obtidos concluímos que a nossa proposta é de fácil entendimento por parte dos usuários. Suas principais funcionalidades, controle e programação remotos de uma estufa, são percebidas pelos usuários. No geral, os usuários têm facilidade no uso da interface proposta, com algumas ressalvas quanto a parte de programar eventos e quanto a detalhes na parte visual e na estruturação da interface. Dos participantes que realizaram o estudo, 12 deles não tem experiência com plantas e mesmo assim conseguiram realizar as atividades propostas com sucesso. Assim sendo, os resultados ofereceram indícios positivos para a Usabilidade, Utilidade e Facilidade de Uso da arquitetura proposta.

6 Conclusões

A população mundial segue aumentando, e se faz necessária a busca por novos e mais criativos métodos de produção de alimentos, a fim de se diminuir o desperdício e aumentar o rendimento. Uma solução para esses problemas seria o uso de estufas dentro das cidades, misturando agricultura urbana com alta tecnologia.

Neste trabalho apresentamos o AutoGrow, uma arquitetura generalizável, que serve para controlar e programar remotamente estufas de qualquer escala, inclusive fazendas verticais. Dois protótipos funcionais foram construídos como prova de conceito, e um caso de estudo com um protótipo móvel foi realizado com 20 participantes com a finalidade de avaliar a utilidade, a usabilidade e a facilidade de uso da arquitetura proposta. Uma análise quantitativa e qualitativa do experimento de avaliação foi apresentada, de onde pudemos extrair indícios positivos da usabilidade, da utilidade e da facilidade de uso da arquitetura proposta, além de insumos para aspectos da interface que podem ser melhorados.

Com este trabalho, demonstramos que é possível controlar e programar remotamente uma estufa através de uma interface web, utilizando hardware simples e comercialmente disponível e sem necessariamente ter conhecimento sobre programação ou sobre plantas. As informações sobre a arquitetura e os experimentos estão disponíveis para possibilitar a reprodução do trabalho.

Como destacou um participante do estudo de caso, a arquitetura apresentada pode ser utilizada para controlar outras coisas além de uma estufa. Com isso em mente, imaginamos o potencial mercadológico de nossa proposta. Um projeto de inovação pode ser desenvolvido para tornar a arquitetura um produto comercializável. É possível construir um mínimo produto viável que permita a uma pessoa cuidar de um vaso de planta em casa. Com um hardware simplificado, utilizando um Arduino por exemplo, com sensores e relés, é possível construir um equipamento pequeno o suficiente que pode ser colocado dentro dos vasos de plantas.

6.1 Problemas Encontrados e Possíveis Melhorias

O principal problema levantado durante a análise qualitativa se refere as dificuldades que os participantes encontraram em programar ações na interface. Parte da razão vem das decisões de projeto da interface construída, que não contou com avaliação prévia pelos projetistas e necessita de melhorias. Um especialista em *User Experience* saberia a melhor forma de estruturar a interface para facilitar o entendimento por parte do usuário. Também foi notada pelos participantes a falta de tutoriais ou guias na aplicação web, e como isso levou a dificuldade no entendimento e realização das funções propostas.

Concluimos também que não foi uma boa decisão utilizar a versão simplificada das normas, apresentadas na seção 3.2. Se fosse utilizada a versão completa, o processo de criação de regras se tornaria mais claro para o usuário. Como mencionado no capítulo 4, as ações apenas garantem a ativação do gatilho, não desfazendo uma ação após uma condição deixar de ser atendida. Nesse caso, a condição de parada de uma norma é apenas outra norma, o que pode

levar a problemas caso o usuário não tome cuidado ao criar a norma de parada. Com a cláusula *sempre que*, o sistema tem mais autonomia para controlar o fim das normas.

Encontramos dificuldades também com a transmissão de fotos pelo componente "Imagem" da arquitetura. Este componente, escrito em Python, é o responsável por tirar uma foto utilizando a *webcam* e enviá-la para a interface via MQTT. Para isso, o componente codifica essa foto utilizando Base 64, um método para codificação de dados em strings de caracteres para transferência na Internet. Em seguida ele publica a imagem codificada no tópico específico. Porém, a conversão da imagem para uma sequência de caracteres em Base 64 é demorada, e a transmissão do arquivo gerado acabou sendo lenta, demorando em média mais de 1 minuto para que a foto chegasse na aplicação web. Em nossos testes, o componente funciona, porém é lento, causando uma certa frustração para quem estiver utilizando.

Também é possível estender a arquitetura para além do que é mostrado neste trabalho. A partir da arquitetura concebida e experimentada é possível propor o uso de outros componentes, sensores e atuadores. Como por exemplo: um sensor de CO₂ no ar, visto que o CO₂ é um importante elemento para o crescimento das plantas, e a partir desse sensor um atuador pode ser acionado para liberar mais CO₂ dentro da estufa.

Com o que foi apresentado, uma pessoa pode utilizar a arquitetura para cuidar de seus vasos de plantas enquanto viaja. E, além disso, ela também pode planejar e construir uma fazenda vertical em sua própria casa, utilizando uma estrutura de prateleiras que sustente as plantas. A partir disso, a implantação de sensores e atuadores se torna um processo mecânico e escalável.

O uso de hidroponia facilitaria a produção de alimentos, uma vez que não é necessário substrato para o plantio. Utilizando a água como meio de crescimento das plantas, é possível controlar o fluxo de nutrientes diretamente na água. Com sensores de partículas é possível monitorar a quantidade de nutrientes e, a partir de atuadores, adicionar mais nutrientes na água conforme o necessário. Cada nutriente pode estar isolado em um compartimento separado e a quantidade exata a ser misturada na água é facilmente calculada por um computador.

Utilizando também visão computacional, um computador pode identificar com precisão as deficiências específicas das plantas e, se for o caso, qual praga está atacando a produção. Se forem aplicados também algoritmos de aprendizado de máquina, é possível criar um sistema completo que consiga calcular as melhores condições para uma planta, dentro de um ambiente altamente controlável. Uma planta, assim como um humano, necessita de nutrientes e água, respira e transpira. Com isso em mente imaginamos um algoritmo que, recebendo as condições ambientais dentro de uma estufa, consiga, acionando atuadores, simular as condições perfeitas para uma planta, como luminosidade, temperatura e umidade.

Também é possível expandir o ambiente monitorado pela estufa distribuindo sensores por uma área de plantio maior, ou então em uma fazenda vertical. Para isso, cada sensor precisaria ser distinguido dos demais em outras regiões, assim como os atuadores. Isso permitiria a programação de atuações e monitoramento para partes específicas desse ambiente, permitindo a simulação de condições diferentes para as plantas.

Referências

- [1] Waleed Abdallah, Mohamad Khdair, Mos' ab Ayyash, and Issa Asad. Iot system to control greenhouse agriculture based on the needs of palestinian farmers. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Future Networks and Distributed Systems*, page 8. ACM, 2018.
- [2] AeroFarms. Aerofarms. <https://aerofarms.com>, 2018. [Online; acessado em 16-Setembro-2018].
- [3] Chirantan Banerjee and Lucie Adenaeuer. Up, up and away! the economics of vertical farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1):40–60, 2014.
- [4] Andrew Banks and Rahul Gupta. Mqtt version 3.1. 1. *OASIS standard*, 29, 2014.
- [5] Guilherme Lages Barbosa, Francisca Daiane Almeida Gadelha, Natalya Kublik, Alan Proctor, Lucas Reichelm, Emily Weissinger, Gregory M Wohlleb, and Rolf U Halden. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*, 12(6):6879–6891, 2015.
- [6] Victor R Basili-Gianluigi Caldiera and H Dieter Rombach. Goal question metric paradigm. *Encyclopedia of software engineering*, 1:528–532, 1994.
- [7] Juliet Corbin, Anselm Strauss, et al. Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory. 2008.
- [8] Dickson Despommier. The rise of vertical farms. *Scientific American*, 301(5):80–87, 2009.
- [9] Dickson Despommier. *The vertical farm: feeding the world in the 21st century*. Macmillan, 2010.
- [10] J Gustafsson, Christel Cederberg, Ulf Sonesson, and Andreas Emanuelsson. *The methodology of the FAO study: Global Food Losses and Food Waste-extent, causes and prevention”-FAO, 2011*. SIK Institutet för livsmedel och bioteknik, 2013.
- [11] Mitchell C Hunter, Richard G Smith, Meagan E Schipanski, Lesley W Atwood, and David A Mortensen. Agriculture in 2050: Recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience*, 67(4):386–391, 2017.
- [12] InfoQ. Practical mqtt with paho. <https://www.infoq.com/articles/practical-mqtt-with-paho>, 2013. [Online; acessado em 14-Outubro-2018].
- [13] Fabian Kretschmer and Malte E Kollenberg. Can urban agriculture feed a hungry world. *Spiegel Online International*, 1, 2011.
- [14] Rensis Likert. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, 1932.

- [15] Daniel Moga, Dorin Petreus, and Nicoleta Stroia. A low cost architecture for remote control and monitoring of greenhouse fields. In *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2012 7th IEEE Conference on*, pages 1940–1944. IEEE, 2012.
- [16] United Nations. World population prospects: The 2015 revision. *United Nations Econ Soc Aff*, 33(2):1–66, 2015.
- [17] UN Press Release. Food production must double by 2050 to meet demand from world’s growing population, innovative strategies needed to combat hunger, experts tell second committee. <https://www.un.org/press/en/2009/gaef3242.doc.htm>, 2009. [Online, acessado em 16-Novembro-2018].
- [18] Square Roots. Square roots. <https://squarerootsgrow.com>, 2018. [Online; acessado em 16-Setembro-2018].
- [19] Jeffrey Rubin and Dana Chisnell. *Handbook of usability testing: how to plan, design and conduct effective tests*. John Wiley & Sons, 2008.
- [20] Tokyo Salad. Tokyo salad. <https://www.tokyosalad.com/>, 2018. [Online; acessado em 21-Dezembro-2018].
- [21] J Smit, A Ratta, J Nasr, et al. Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities. *Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities.*, 1996.
- [22] Build the Green House of the Future. Build the green house of the future. <http://www.autonomousgreenhouses.com>, 2018. [Online; acessado em 16-Setembro-2018].
- [23] Isobel Tomlinson. Doubling food production to feed the 9 billion: a critical perspective on a key discourse of food security in the uk. *Journal of rural studies*, 29:81–90, 2013.
- [24] Dionysios Toulaitos, Ian C Dodd, and Martin McAinsh. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and energy security*, 5(3):184–191, 2016.
- [25] Mirai Vegetables. Mirai vegetables. <http://miraigroup.jp/en/>, 2018. [Online; acessado em 16-Setembro-2018].
- [26] Georg Henrik Wright. *Norm and action: a logical enquiry*. Humanities Press, 1963.

7 Apêndices

Tabela de códigos gerada a partir da análise qualitativa das respostas do questionário.

Códigos	
C1	aprender a navegar pela interface é fácil
C2	aprender a agendar eventos é difícil
C3	a interface é simples
C4	interface intuitiva
C5	a interface possui erros
C6	a interface é organizada
C7	usaria a interface no dia a dia
C8	não usaria a interface no dia a dia
C9	confirmação de agendamento complicado de entender
C10	falta de um tutorial no aplicativo
C11	falta de títulos para identificação de funcionalidades do aplicativo.
C12	interface é fácil de usar
C13	sugestão de: a navegabilidade pode ser melhorada
C14	aprender a navegar pela interface foi simples
C15	falta de menus para identificação de funcionalidades do aplicativo.
C16	a interface é simples de usar
C17	aprender a navegar pela interface é intuitivo
C18	aprender a navegar pela interface é tranquilo
C19	funções não autoexplicativas
C20	interface não atualiza eventos salvos
C21	sugestão de: interface pode ser mais bonita
C22	aprender a navegar pela interface é difícil
C23	mudança de telas não é clara
C24	encontrar ações é difícil
C25	difícil entender como agendar eventos
C26	sugestão de: adicionar condições para ações pode ser melhorado
C27	usuário não gostou de adicionar tarefas
C28	usuário gostou dos botoes para controle
C29	usuário gostou do programador de eventos
C30	sugestão de: tutorial
C31	usuário gostou do estilo da interface
C32	difícil encontrar as funcionalidades na interface
C33	usuário achou fácil programar eventos
Continua na próxima página	

C34	usuário não encontrou dificuldades no uso da interface
C35	sugestão de: tela de carregamento para opções com demora de resposta
C36	interface pouco responsiva
C37	criar eventos é difícil
C38	usuário gostou das informações indicadas
C39	informações não estão claras
C40	falta de rótulos autoexplicativos
C41	a interface ajuda a controlar e programar remotamente uma estufa
C42	usuário gostou da tela inicial
C43	usuário gostou de ver o estado das coisas
C44	dificuldade em adicionar tarefas
C45	comentário: é necessário conhecimento prévio com cultivo de alimentos
C46	a interface fornece controles remotos para funcionalidades
C47	a interface é portátil
C48	comentário: é possível fazer o controle em apenas 3 paginas de navegação.
C49	falta de informações para guiar
C50	informações estão claras
C51	usuário não gostou dos botões
C52	sugestão de: melhorias na tela secundaria
C53	usuário não gostou da tela secundaria
C54	adicionar eventos é confuso
C55	sugestão de: não deixar na interface funções que não funcionam
C56	Sugestão de: Tomar cuidado com termos em inglês
C57	aprender a navegar pela interface foi de maneira natural
C58	o uso da solução ocorreu sem problemas catastróficos
C59	fácil entendimento para operação das funções básicas.
C60	a interface é programável
C61	sugestão de: seguir modelo de material design
C62	usuário demorou para entender as condições
C63	usuário demorou para entender os botões
C64	adicionar eventos não é intuitivo
C65	sugestão de: melhoria da interface
C66	usuário encontrou dificuldade no uso da interface
C67	excluir um evento não é intuitivo
C68	sugestão de: mais botoes
C69	sugestão de: utilizar a automação para controlar outras coisas
C70	sugestão de: ações prontas
C71	a interface automatiza ações
C72	usuário gostou da praticidade da interface
C73	a interface é limpa
C74	usuário gostou da simplicidade da interface
C75	sugestão de: ocultar o botão de confirmar quando a pessoa ainda não adicionou condições
C76	usuário achou a interface desorganizada
C77	usuário achou fácil usar o controle remoto
Continua na próxima página	

Tabela 7.1: Codificação gerada

Opinião	positiva	sobre a interface	fácil	aprender a navegar é simples	C1
					C14
					C57
					C17
					C18
Opinião	positiva	sobre a interface	fácil	usar	C57
					C12
					C16
					C77
					C34
					C48
Opinião	positiva	sobre a interface	fácil	programar eventos	C58
					C59
Opinião	positiva	sobre a interface	fácil	programar eventos	C33
Opinião	positiva	sobre a interface		simples	C3
Opinião	positiva	sobre a interface		intuitiva	C4
Opinião	positiva	sobre a interface		organizada/limpa	C6
					C73
Opinião	positiva	sobre a interface		portável	C47
Opinião	positiva	sobre a interface		serve para controlar e automatizar remotamente uma estufa	C46
					C60
					C71
Opinião	positiva	sobre a interface		informações claras	C50
Opinião	positiva	gostou		tela inicial	C28
					C31
					C42
					C38
					C43
Opinião	positiva	gostou		programador de eventos	C29
Opinião	positiva	gostou		praticidade	C72
Opinião	positiva	gostou		simplicidade	C74

Tabela 7.2: Opiniões positivas

Opinião	negativa	sobre a interface	difícil	criar eventos		C37
						C44
						C44
						C54
Opinião	negativa	sobre a interface	difícil	excluir eventos		C66
						C67
Opinião	negativa	sobre a interface	difícil	aprender	agendar eventos	C2
Opinião	negativa	sobre a interface	difícil		aprender	navegar pela interface
Opinião	negativa	sobre a interface	difícil	confirmar agendamento		C9
Opinião	negativa	sobre a interface	faltas	tutorial		C10
Opinião	negativa	sobre a interface	faltas	menus		C15
Opinião	negativa	sobre a interface	faltas	títulos para funcionalidades		C11
						C19
						C40
Opinião	negativa	sobre a interface	faltas	clareza nas informações		C39
						C62
						C63
Opinião	negativa	sobre a interface	problemas	pouco responsiva		C36
Opinião	negativa	sobre a interface	problemas	mudança de telas não é clara		C20
Opinião	negativa	sobre a interface	desorganizada		C39	
Opinião	negativa	não gostou	da forma de acionar eventos		C76	
Opinião	negativa	não gostou	dos botões		C27	
Opinião	negativa	não gostou	da tela secundária		C51	
						C53

Tabela 7.3: Opiniões negativas

Sugestões	melhoria	navegabilidade	C13
Sugestões	melhoria	aparência da interface	C21
			C55
			C56
			C61
Sugestões	melhoria	forma de adicionar condições para eventos	C26
Sugestões	melhoria	da interface	C65
Sugestões	adição	tutorial	C30
Sugestões	adição	Eventos pré programados	C70
Sugestões	adição	pode controlar outras coisas	C69
Sugestões	adição	botões	C68
Sugestões	adição	tela de carregamento	C35
Observações	necessário conhecimento de plantas para usar		C45
Utilidade percebida	usaria		C7
Utilidade percebida	não usaria		C8

Tabela 7.4: Sugestões, observações e utilidades