



UFSCAR – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO  
CARLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIOTECNOLOGIA

Estudo da interação de campos eletromagnéticos na faixa de micro-ondas e luz visível na cultura de Rúcula (*Eruca sativa*): desenvolvimento de dispositivo para a otimização da olericultura baseado na incidência da luz.

**Adriano de Souza Alvares**

**São Carlos**  
**2017**

**UFSCAR – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

Estudo da interação de campos eletromagnéticos na faixa de micro-ondas e luz visível na cultura de Rúcula (*Eruca sativa*): desenvolvimento de dispositivo para a otimização da olericultura baseado na incidência da luz.

**Adriano de Souza Alvares**

**Orientadores: Dr. Eng. Fernando M. Araújo Moreira – DF/UFSCar**

**Dr. Luís Carlos Trevelin – DC/UFSCar**

Tese apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Biotecnologia

**2017**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

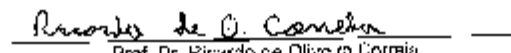
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia

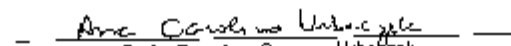
Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliaram e aprovaram a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Adriano de Souza Amara, realizada em 28/07/2017:

  
Prof. Dr. Fernando Manuel de Azeite Morsini  
UFSCAR

  
Prof. Dra. Nadja Fernanda Gonçalves Soriano  
UNESP

  
Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Correia  
UFSCAR

  
Prof. Dra. Ana Carolina Urhaczak  
LSP

  
Prof. Dr. Irmênio Clotet Junior  
IBILCE/UNESP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por essa conquista. Pela sabedoria, saúde e fé que me fez chegar até aqui. A força nos momentos difíceis, que somente o Senhor na sua paz descomunal pôde me oferecer. Pelas bênçãos diárias, que através da sua graça se fez presente em todos os momentos da minha vida. Obrigado Pai!

Aos meus Pais, Claudio Lopes Alvares e Laura Ribeiro de Souza, pelo incentivo, amor e confiança depositada em mim, durante todos esses anos. A minha Daina Trintini, seu marido Guilherme e Pedro pelo carinho, apoio e os dias de descanso na Bahia.

Ao amor da minha vida Thalita Athiê Néó, por ter me direcionado para este caminho. Obrigado amor, pelo carinho, incentivo, paciência, companheirismo, por acreditar em mim, e ser essa pessoa especial comigo me ajudando a crescer em todos os sentidos. Obrigado!!

Aos meus orientadores Dr. Eng. Fernando M. Araújo-Moreira e Dr. Luís Carlos Trevelin, pela orientação, apoio, dedicação e ensinamentos, que, sem dúvida, essa pesquisa seria impossível sem a participação de vocês. Muito obrigado!

Em especial ao meu orientador Dr. Fernando, que não orientou somente este trabalho, mais me serviu de inspiração, com seus conselhos e visão de mundo. Obrigado por transformar uma relação de aluno professor em uma amizade.

À Embrapa Pecuária Sudeste de São Carlos – SP, em especial a Dra. Ana Rita pela atenção e disponibilidade do laboratório para os testes finais do meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Luiz Fernando de Moura do Departamento de Química da UFSCar, ao Prof. Dr. Joaquim de Araújo Nóbrega, à Dra. Caroline Santos da Silva e ao Grupo de Análise Instrumental Aplicada (Gaia), pela atenção, tempo e disponibilidade do laboratório do grupo para os testes do meu trabalho.

A todo pessoal do laboratório LaMiB, do Departamento de Patologia e Morfologia, especialmente ao Paulo Henrique Marques de Andrade pela atenção, compreensão, ajuda.

Muito Obrigado!

Aos amigos Rick e Genovena, por toda ajuda, incentivo, amizade e todas as risadas e alegrias que tivemos juntos ao longo deste doutoramento.

Aos amigos Felipe, Bianca, Rebeca Rafa e Carla pelas risadas durante os encontros, viagens e as madrugadas inteiras dentro do laboratório.

Ao meu amigo Lucas Rodrigues Silva, por toda amizade, incentivo e por ficar uma madrugada inteira no laboratório ajudando, e claro por ter levado uma máquina de café junto.

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a estrutura física, operacional e pela oportunidade dada em concretizar o doutorado e seguir o caminho da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da UFSCar, pela contribuição em minha formação profissional.

À secretária Claudia Pastega do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (UFSCar), pela atenção, disposição e amizade em todas as vezes que precisei de você.

Ao meu amigo Felipe Maciel, pelo incentivo e ajuda com as traduções. Ao casal Carlos e Priscila, pelas orações nos momentos difíceis e apoio incondicional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Doutorado (2013-2017) concedida durante os quatro anos de curso.

**Muito Obrigado!**

## RESUMO

Diante do aumento da produção de hortaliças no Brasil para 16 milhões de toneladas e da arrecadação de oito bilhões de reais em 2016, iniciaram-se estudos tanto sobre o plantio como das hortaliças. Informações do mercado de hortaliças mostra que o alface é a herbácea mais consumida no país; entretanto o consumo de rúcula vem crescendo ao longo dos anos sendo atualmente um forte concorrente do alface tanto em consumo como em termos de atrativo econômico.

Em função desse interesse crescente verificado nos últimos anos, neste estudo analisamos as interações – e os efeitos - de ondas eletromagnéticas na faixa da luz visível e micro-ondas na produção de rúcula. Através dos resultados obtidos desenvolvemos um dispositivo que garante a cor (comprimento de onda) e tonalidade da luz correta para otimizar a germinação – e, portanto, a produção - da rúcula.

As amostras de rúcula foram tratadas com luz de fontes do tipo LED (*Light Emitting Diode*, ou diodo emissor de luz) nos comprimentos de onda do espectro visível nas frequências correspondentes às cores vermelha, verde e azul e ainda com radiação eletromagnética na faixa das micro-ondas (0.3 a 300 GHz) especificamente na frequência de 2,4 GHz. Esses tratamentos foram realizados com a configuração de 8h LED, 8h de claridade solar e 8h noite, enquanto que o tratamento por 2,4 GHz permaneceu irradiado por 24h recebendo 12h de claridade solar e 12h noite. As amostras controle foram submetidas a 12h de claridade solar e 12h noite. Todas as amostras foram tratadas por 7 dias.

Na análise dos resultados foram consideradas as medidas biométricas (tamanho de folha, parte aérea e raiz), a massa fresca, seca e a porcentagem da umidade, as medidas da clorofila a, b, totais e carotenóides e a quantificação de macro e micronutrientes como Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Potássio (K), Sódio (Na) e Zinco (Zn).

Os resultados mostram que a luz do LED vermelho obteve melhores resultados nas características biométricas, massa úmida e valores de macro e micronutrientes acima do indicado pela ANVISA através do índice IDR (*Ingestão Diária Recomendada*).

O dispositivo de baixo custo desenvolvido se mostrou importante para identificar e auxiliar na parametrização da luz mediante o uso adequado de cada cor e tonalidade da radiação eletromagnética utilizada promovendo assim diferentes respostas no cultivo. A proteção intelectual deste dispositivo junto ao INPI (*Instituto Nacional de Propriedade Industrial*) já foi iniciada através da Agencia de Inovação da UFSCar.

Os resultados obtidos neste trabalho com o LED vermelho permitirão a extensão deste projeto para estudos mais sofisticados envolvendo o conceito de coerência quântica, como recentemente apontado num estudo publicado na revista *Nature*.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eruca sativa*; Ondas eletromagnéticas, LED, sensor de luz

## ABSTRACT

Faced with the increase in vegetable production in Brazil to 16 million tons and the collection of 8 billion reais in 2016, studies have begun on both planting and vegetables. Information from the market of vegetables shows that lettuce is the most consumed herbaceous in the country; However the consumption of arugula has been growing over the years and is currently a strong competitor of lettuce both in consumption and in terms of economic attractiveness.

Due to this growing interest in recent years, in this study we analyze the interactions - and the effects - of electromagnetic waves in the visible light range and microwaves in the production of arugula. Through the obtained results, we developed a device that guarantees the correct color (wavelength) and light tonality to optimize the germination - and therefore the production - of the arugula.

The analyzed samples were treated with light from light emitting diode (LED) sources at wavelengths of the visible spectrum at frequencies corresponding to red, green and blue colors and still with electromagnetic radiation in the range of micro (0.3 to 300 GHz) specifically at the 2.4 GHz frequency. These treatments were performed with the 8h LED setting, 8h of solar clarity and 8h night, while the 2.4 GHz treatment remained irradiated for 24h, receiving 12h of solar clarity and 12h night. Control samples were submitted to 12h of solar clarity and 12h night. All samples were treated for 7 days.

The biometric measurements (leaf size, aerial part and root), fresh mass, dry weight and humidity percentage, chlorophyll a, b, total and carotenoid measurements and quantification of macro and micronutrients as Calcium (Ca), Iron (Fe), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Copper (Cu), Potassium (K), Sodium (Na) and Zinc (Zn).

The results shows that red LED light obtained better results in biometric characteristics, wet mass and macro and micronutrient values than indicated by ANVISA through the IDR (Recommended Daily Intake) index.

The low-cost device developed, proved to be important for identifying and aiding in the parameterization of light through the appropriate use of each color and tonality of the electromagnetic radiation used, thus promoting different responses in the culture. The intellectual protection of this device with the INPI (National Institute of Industrial Property) has already been initiated through the Innovation Agency of UFSCar.

The results obtained in this work with the red LED will allows the extension of this project to more sophisticated studies involving the concept of quantum coherence, as recently pointed out in a study published in the Nature journal.

KEY-WORDS: *Eruca sativa*; Electromagnetic waves, LED, Light sensor

# Sumário

RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
Lista de Figuras .....	5
Lista de Tabelas .....	7
1 – Introdução .....	8
2 – Revisão de Literatura .....	10
2.1 - Radiação Eletromagnética .....	10
2.2 – Comunicação sem fio ( <i>Wireless</i> ) .....	12
2.2.1 – Estações Rádio Base (ERB) .....	14
2.3 – Redes Locais Sem Fio .....	14
2.4 - Diodo Emissor de Luz (LED) .....	15
2.3.1 - Características elétricas .....	16
2.4 - Arduino .....	17
2.4.1 - Sensores para Arduino .....	20
2.5 – Efeito da luz no crescimento de plantas .....	22
2.5 - Rúcula .....	23
2.6 - Clorofila .....	26
2.7 - Carotenóides .....	28
3 – Justificativas e Objetivos .....	31
4 – Materiais e Métodos .....	32
4.1 – Preparo dos dispositivos eletrônicos .....	32
4.1.1 - Módulo Relé .....	32
4.1.2 – Sensor de Cores TCS3200 .....	33
4.2 – Tratamento das amostras .....	34
4.3 – Determinação dos Sólidos Solúveis Totais (SST) .....	35
4.4 – Cálculos das Concentrações de Clorofila a, b e Carotenos .....	35
4.5 – Determinação do pH .....	36
4.6 – Quantificação de Minerais .....	37
4.6.1 – Preparação das amostras .....	37
4.6.2 – Digestão das amostras .....	37
4.6.3 - Espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES) .....	38
4.7 – Análise da Biomassa .....	39
4.8 – Análise Estatística .....	39
5 – Resultados e Discussão .....	40

5.1 – Biométrica.....	40
5.2 – Massa Úmida e Seca .....	44
5.3 – pH .....	45
5.4 – Sólidos Solúveis Totais (SST).....	46
5.5. – Clorofila a, b e Carotenoides.....	47
5.6 – Análises de minerais.....	49
5.7 – Dispositivo para Detecção das Cores.....	52
5.8 – LED Vermelho .....	53
6 – Conclusões.....	53
8 - Referências Bibliográficas .....	54
ANEXO A.....	65
ANEXO B.....	66

## Lista de Figuras

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA, MOSTRANDO OS VETORES CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO, BEM COMO O COMPRIMENTO DE ONDA. ....	8
FIGURA 2 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO .....	10
FIGURA 3 - ESTAÇÃO RÁDIO BASE (ERB). ....	14
FIGURA 4 - ESQUEMA DO LED.....	16
FIGURA 5 - ARDUINO UNO .....	18
FIGURA 6 - FUNÇÃO DOS COMPONENTES DO ARDUINO UNO .....	19
FIGURA 7 - SOFTWARE PARA PROGRAMAÇÃO ARDUINO .....	20
FIGURA 8 - SENSOR DE COR TCS3200 .....	21
FIGURA 9 - MODULO RELÉ DE 5V PARA O ARDUINO UNO .....	22
FIGURA 10 - RÚCULA CULTIVADA GIGANTE - FOLHA LARGA .....	25
FIGURA 11 - ESQUEMA QUÍMICO DA CLOROFILA A E B.....	27
FIGURA 12 - ESPECTRO DE ABSORÇÃO DOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS COMPARADOS COM A TAXA DE FOTOSSÍNTESE.....	28
FIGURA 13 - CAROTENOIDES .....	29
FIGURA 14 - CONFIGURAÇÃO DOS FIOS NO MODULO RELÉ.....	32
FIGURA 15 - MONTAGEM DO SENSOR TCS3200 NA PLACA ARDUINO UNO. ....	33
FIGURA 16 - SEMEADURA DE RÚCULAS CULTIVADA GIGANTE - FOLHA LARGA. ....	34
FIGURA 17 - A - TRATAMENTO COM LUZ AZUL, B - TRATAMENTO COM LUZ VERDE, C - TRATAMENTO COM LUZ VERMELHA, D - CONTROLE E E - TRATAMENTO COM 2,4GHZ.....	35
FIGURA 18 - A) VORTEX MARCA PHOENIX B) CENTRIFUGA SPIN MARCA MINISTAR E C) ESPECTROFOTÔMETRO MARCA BIOSPECTRO. ....	36
FIGURA 19 - MICRO MOINHO DE FACAS.....	37
FIGURA 20 - ESPECTROFOTOMETRO (ICP OES) ICAP 6000.....	38
FIGURA 21 - MEDIÇÃO DA FOLHA EM MILÍMETROS. ....	39
FIGURA 22 - DIFERENÇA NO CRESCIMENTO DAS FOLHAS ENTRE OS GRUPOS. (*) (#) DIFERENÇA ENTRE OS GRUPOS COM $P < 0,05$ . ....	42
FIGURA 23 - DIFERENÇA ENTRE OS GRUPOS NO CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA, EXISTINDO DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS COM $P < 0,05$ . ....	43

FIGURA 24 - DIFERENÇAS ENTRE OS GRUPOS PARA A RAIZ. (*) GRUPOS DIFERENTES DO CONTROLE. ....	44
FIGURA 25 - VALORES DE PH DAS AMOSTRAS DE RÚCULA DE CADA GRUPO. ....	45
FIGURA 26 - VALORES DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS EM BRIX. ....	46
FIGURA 27- VALORES DE CLOROFILA A E CLOROFILA B. OS SÍMBOLOS E LINHAS INDICAM AS MÉDIAS $\pm$ DESVIO PADRÃO DAS MÉDIAS DA CLOROFILA ( $\mu\text{G.ML}^{-1}$ ) * INDICA DIFERENÇA SIGNIFICATIVA EM RELAÇÃO A TODOS OS GRUPOS E ENTRE SI ( $P<0,05$ ) .....	48
FIGURA 28 - VALORES DOS CAROTENOIDES. NÃO APRESENTOU DIFERENÇA SIGNIFICATIVA ENTRE OS GRUPOS ( $P<0,05$ ).....	49
FIGURA 29 - VALORES DOS MINERAIS (CA, FE, K, NA). ....	51
FIGURA 30 - VALORES ENCONTRAS PARA OS MINERAIS CU, MG, MN, ZN.....	52
FIGURA 31 - AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO E VALORES DE INTENSIDADE LUMINOSA E A COR CORRESPONDENTE.....	53

## Lista de Tabelas

TABELA 1 - FONTES GERADORAS DE RF.....	13
TABELA 2 - DESCRIÇÃO DOS PINOS DO SENSOR DE CORES TCS3200.....	21
TABELA 3 - ESCALA DE FREQUÊNCIA DE SAÍDA. ....	21
TABELA 4 - CONFIGURAÇÃO DAS LIGAÇÕES DO SENSOR TCS3200 NO ARDUINO UNO.....	33
TABELA 5 - PROGRAMA DE AQUECIMENTO UTILIZADO NA DIGESTÃO DAS AMOSTRAS. .....	38
TABELA 6 - DIFERENÇA APRESENTADA EM MÉDIA (MM) DO CRESCIMENTO DAS FOLHAS, DOS CAULES E DA RAIZ PARA CADA GRUPO, SENDO O D.P O DESVIO PADRÃO DOS DADOS.....	41
TABELA 7 - VALORES DE MASSA ÚMIDA (MU), MASSA SECA (MS) EM GRAMAS E PORCENTAGEM DE UMIDADE.....	44
TABELA 8 - VALORES DE CLOROFILA A, CLOROFILA B E CAROTENOIDES POR CADA GRUPO. ....	47
TABELA 9 - QUANTIFICAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES (CA, MG, K E NA) E MICRONUTRIENTES (FE, MN, ZN E CU). CV(%) O COEFICIENTE DE VARIAÇÃO. .....	50
TABELA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE VALORES ENCONTRADOS E (IDR) INGESTÃO DIARIA RECOMENDADA SEGUNDO ANVISA.....	50

# 1 – Introdução

No ano de 1672, um novo conceito sobre a luz era apresentado ao mundo. Isaac Newton afirmou que a luz é "uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades" e que "os raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor vermelha, e os raios mais refrangíveis são todos dispostos a exibir uma cor violeta profunda".

O *Experimentum Crucis*, foi um ponto importante para a teoria newtoniana, neste experimento, incidiu-se um feixe de luz solar que transpassava dois prismas. O primeiro prisma resultou em uma mancha, o qual Newton declarou que a luz era formada por um espectro colorido, sendo cada um refratado em uma direção diferente, já o segundo, mostrou que as cores do espectro não eram divididas, mais sim redirecionada em um ângulo diferente, demonstrando assim, que cada cor está relacionada a um índice de refração (SILVA & MARTINS, 2003).

A luz é uma onda eletromagnética que tem como característica a vibração de campos elétricos e magnéticos que propagam no espaço na velocidade da luz. Se diferencia das outras como rádio, raios X através do comprimento de onda, a **(Figura 1)** apresenta uma onda eletromagnética possibilitando a identificação do comprimento de onda, campo elétrico e magnético (CAVALCANTE & TAVOLARO, 2001).

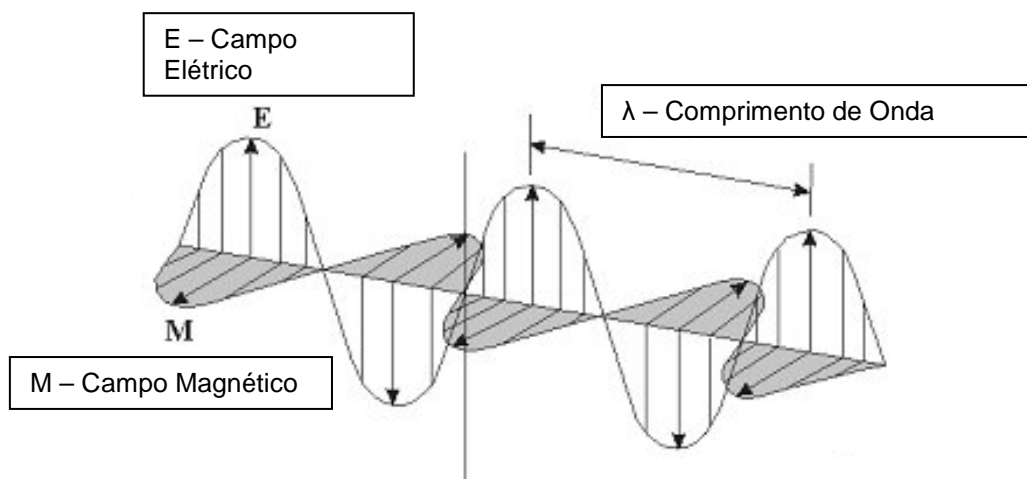


Figura 1 - Representação esquemática de uma onda eletromagnética, mostrando os vetores campo elétrico e magnético, bem como o comprimento de onda.

A radiação eletromagnética quando interage com seres vivos, dependendo da frequência e da potência, podem produzir algum tipo de efeito biológico. Tal efeito, por si só, não significa necessariamente a existência de um perigo.

Para o bom crescimento e desenvolvimento de espécimes utilizadas na agricultura, a luz solar é primordial, pois através dela ocorre o processo de fotossíntese que intensifica as características como tamanho, cor, sabor, dentre outras. Entretanto alguns fatores podem dificultar a correta quantidade de luz necessária pelas plantas, como condições geográficas e climáticas, sendo assim, o uso de iluminação artificial se faz necessário para potencializar as características e a produção das plantas (MARTINS, 2014).

Outro fator considerável que pode causar efeitos biológicos sobre organismos vivos é a poluição eletromagnética que vivemos, sendo o aumento no número de dispositivos que usam uma frequência de 2.4 GHz e a quantidade crescente de estações de rádio base (ERB) segundo Sharma et al. (2010), que cresce de forma excessiva conforme o número de celulares por pessoa, que no ano de 2016 estava entre 122,23 cel/100 hab., o devido ano fechou com 252,1 milhões de celulares (TELECO, 2016).

Toda essa inovação tecnológica que tem levado ao aumento de dispositivos com comunicação sem fio e na infraestrutura para provê-los, tem como foco, as facilidades e comodidades para a humanidade, e somente no início desta década que pesquisas começaram a ser realizadas em um maior número. Esses estudos tiveram início para verificar a interação eletromagnética em humanos e plantas, mediante o aumento de potência e o uso de novas frequências.

## 2 – Revisão de Literatura

### 2.1 - Radiação Eletromagnética

A onda é definida pelo comprimento de onda ou pela frequência (OKUNO, 2013), ela pode ser melhor estudada através do espectro eletromagnético, que compreende todas as frequências que são classificadas em ionizantes e não ionizantes (BORGES, 2009), como mostra a (Figura 2). No espectro, as frequências estão associadas aos seus respectivos comprimentos de ondas e com suas diversas aplicações.

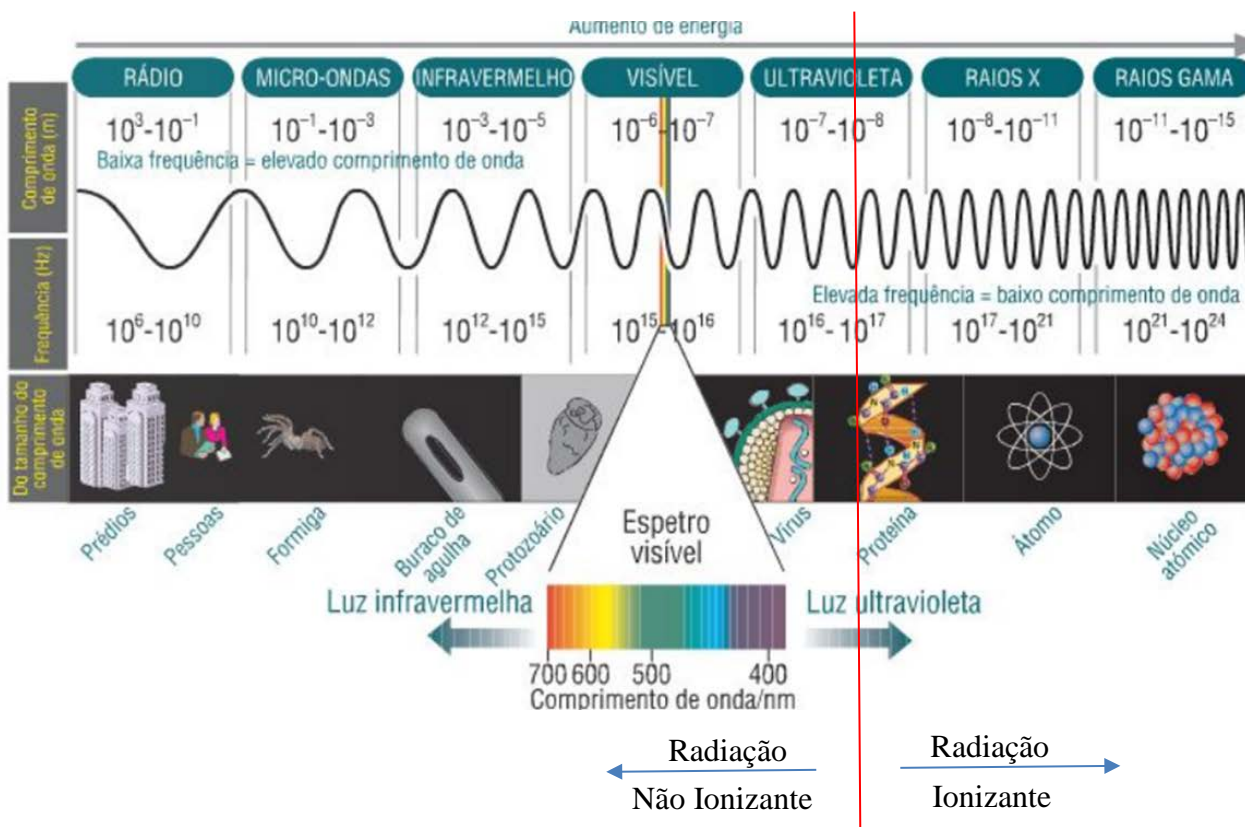


Figura 2 - Espectro Eletromagnético

Fonte: <http://andre-godinho-cfq-8a.blogspot.com.br/2013/06/espectro-eletromagnetico.html>

As frequências mais elevadas, como por exemplo raios X e raios gama que tem comprimento de onda na ordem de micrômetros, são classificados como ionizantes e este tipo de radiação é capaz de arrancar um elétron do átomo (DORE, 2004).

Durante o processo há o surgimento do par de íons, negativo e positivo, sendo o íon negativo o elétron que foi expelido e o íon positivo o átomo que perdeu o elétron. A ligação entre elétrons e átomos que ocorre por forças elétricas, depende da distância entre eles, como exemplo, as energias de ligação de um elétron na camada K e outro na última camada de um átomo de tungstênio são de 69.500 eV e 7,9 eV respectivamente. Caso a radiação ionizante tenha energia maior que a da ligação entre o elétron e o átomo, ela pode separar qualquer elétron de um átomo (OKUNO, 2013).

As moléculas do nosso corpo, muitas delas pequenas como as de água e outras maiores como as de DNA, são unidas por forças elétricas. E quando um átomo perde elétrons por radiação ionizante, isso pode acarretar na desestabilização da molécula, como exemplo a mutação genética, morte celular ou liberação de radicais livres que podem atacar moléculas importantes (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

Entretanto a radiação não ionizante, com frequência abaixo do ultravioleta, não possui energia suficiente para provocar a ionização do material (SANTIAGO, 2008).

Cada combinação de comprimento de onda e frequência possuem características específicas, abaixo estão algumas dentro das não ionizantes (SANTARÉM, 2012).

Ultravioleta: de poder bactericida, é usada na esterilização de produtos, pode causar alterações químicas na pele e é utilizada em observatórios de astronomia, dentre outras aplicações (BENTES JR, 2009).

Luz visível: radiação com habilidade de sensibilizar o olho humano normal, indo de 480 a 790 THz (BENTES JR, 2009).

Infravermelho: esta radiação é absorvida pela maioria das substâncias, tem diversas aplicações como geração de imagens via satélite (BENTES JR, 2009).

Micro-ondas: radiações eletromagnéticas concentradas, tem por característica serem pouco atenuadas pela atmosfera. São utilizadas em radares, comunicação telefônica entre cidades, estações retransmissoras de televisão (BENTES JR, 2009).

Ondas de rádio: são refletidas pela ionosfera (aproximadamente até 30MHz), as ondas eletromagnéticas na faixa de frequência de rádio, são

produzidas por circuitos eletrônicos e utilizadas para comunicação de longa distância (BENTES JR, 2009).

## 2.2 – Comunicação sem fio (*Wireless*)

Após a descoberta de como utilizar as ondas de rádio e a evolução constante de equipamentos para manipulá-la. Atualmente, fazemos uso constante de uma comunicação sem fio, que é chamada também de *wireless*. O desejo e a necessidade de uma comunicação sem fio iniciou-se com os militares, que precisavam transmitir informações sem interferência e interceptação dos inimigos. Um novo método mais aprimorado de modulação surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, porém somente ao término da Guerra Fria essa tecnologia chegava para uso civil, sendo que esta modulação nos dias de hoje é utilizada em vários sistemas como: telefonia celular, sistemas de transmissão de dados móveis (GSM), sistema de localização global via satélite (GPS), dentre outros como mostra a **(Tabela 1)** (ZEINDIN, 1999).

Tabela 1 - Fontes geradoras de RF.

<b>FONTE</b>	<b>FREQUÊNCIA</b>	<b>EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL</b>	<b>EXPOSIÇÃO RESIDENCIAL</b>	<b>EXPOSIÇÃO AMBIENTAL</b>	<b>POSSIBILIDADES DE EXPOSIÇÃO</b>
<b>ERBS</b>	900 MHz-2 GHz	SIM	SIM	SIM	<b>DEPENDE DA LOCALIDADE</b>
<b>EQUIPAMENTOS MÉDICOS: SCANNERS, BISTURI ELÉTRICO, ETC.</b>	10-100 MHz Scanners: 2,5 - 10 MHz	SM	NÃO	NÃO	<b>EXPOSIÇÃO OCASIONAL PARA PACIENTES EM TRATAMENTO E MÉDICOS</b>
<b>RADARES</b>	3-30 GHz	SIM	SIM	SIM	<b>POSSIBILIDADE DE EXPOSIÇÃO QUANDO O RADAR ESTÁ LIGADO</b>
<b>SISTEMA PRIVADO DE RÁDIO</b>	Algumas centenas de MHz	NÃO	SIM	NÃO	<b>NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO DEPENDEM DA FREQUÊNCIA DE USO</b>
<b>ANTENAS DE TV</b>	800 MHz	Depende da localização	SIM	SIM	<b>POSSIBILIDADE DE EXPOSIÇÃO QUANDO A RESIDÊNCIA/LOCAL DE TRABALHO ESTÃO PROXIMOS À ANTENA</b>
<b>ESTAÇÕES DE RÁDIO</b>	Algumas centenas de MHz	Depende da localização	Depende da localização	SIM	<b>POSSIBILIDADE DE EXPOSIÇÃO QUANDO A RESIDÊNCIA/LOCAL DE TRABALHO ESTÃO PROXIMOS AO SISTEMA</b>
<b>FORNOS DE MICRO-ONDAS</b>	2,45 GHz	NÃO	SIM	NÃO	<b>EXPOSIÇÃO DEPENDE DA FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO</b>
<b>EQUIPAMENTOS ANTIFURTO</b>	Centenas de Hz a poucos MHz	SIM	SIM	NÃO	<b>POSSIBILIDADE DE EXPOSIÇÃO QUANDO ALGUÉM ESTÁ NO EDIFÍCIO PROTEGIDO</b>
<b>REDE DE COMPUTADORES SEM FIO</b>	2-5 GHz	SIM	SIM	NÃO	<b>EXPOSIÇÃO CONTÍNUA POTENCIAL SE OS SISTEMAS ESTÃO INSTALADOS NO AMBIENTE RESIDENCIAL OU DE TRABALHO</b>

Fonte: (PADUELI, 2012)

As redes sem fio podem ser de dois tipos: WLAN (*Wireless Local Area Network*) ou WWAN (*Wireless Wide Area Network*), sendo que a WWAN refere-se principalmente em telefonia celular, enquanto a WLAN baseia-se na comunicação em áreas restritas como salas, edifícios (RODRIGUES & NÉRIO, 2010).

### 2.2.1 – Estações Rádio Base (ERB)

A popularização de fontes de radiofrequência (RF), que operam entre 100 KHz a 300 GHz, deve seu aumento também a telefonia móvel que está cada vez mais presente nas sociedades. A telefonia sem fio possui uma extensa rede de antenas fixas, conhecidas como estações rádio base (ERBs) (**Figura 3**), que trabalha com os dados (transmissor e receptor) via sinais de radiofrequência.



Figura 3 - Estação Rádio Base (ERB).

Fonte: <http://licenciadorambiental.com.br/modelo-formulario-estacao-radio-base-erb/>  
<http://www.bitmag.com.br/2013/12/intel-reforca-arsenal-wireless-com-aquisicao/>

### 2.3 – Redes Locais Sem Fio

Durante anos o único meio de montar uma rede era utilizando cabos, e diversos estudos na área de redes locais sem fio *Wireless Local Area Network* (WLAN) começaram a ser realizados o que resultou na falta de padronização de normas. Diante deste cenário diversas empresas como *3Com*, *Nokia*, *Lucent Technologies* (atualmente *Alcatel-Lucent*) e *Symbol Technologies* (adquirida pela *Motorola*) se uniram criando um grupo para lidar com esse tema, nascendo assim em 1999 a *Wireless Ethernet Compatibility*

*Alliance* (WECA) e a partir de 2003 até os dias de hoje mais conhecida como *Wi-Fi Alliance* (ALECRIM, 2013).

O padrão 802.11, criado em 1997 pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), estabelece normas para uso e criação de redes sem fio, que funciona por sinais de radiofrequência e tem como alcance centenas de metros. Cada país tem suas normas para controlar o uso de bandas de frequência, deixando apenas alguns segmentos liberados para uso sem necessidade de aprovação, são a Indústria, a área Científica e a Médica (*Industrial, Scientific and Medical* - ISM) que podem operar nas faixas 902 - 928 MHz, 2,4 - 2,485 GHz e 5,15 - 5,825 GHz (sofrendo algumas variações a depender do país). O Wi-Fi utiliza essas duas últimas faixas para seu funcionamento (MAGNO, 2013).

#### 2.4 - Diodo Emissor de Luz (LED)

Conhecido como LED (*Light Emitting Diode*), os diodos emissores de luz, são fontes artificiais luminosas, contendo em sua composição diferentes camadas de materiais semicondutores (MARTELETO, 2011).

Materiais de condução elétrica intermediários, localizados entre os isolantes e os condutores, são denominados de semicondutores. Um ponto atrativo do material semicondutor é a possibilidade de variar sua condutividade elétrica (WENDLING, 2009).

Essa variação pode afetar os elétrons de um átomo, que em órbitas distintas tem energias diferentes, sendo que quanto mais distante do núcleo maior a energia. Ao cair de órbita o elétron libera energia na forma de um fóton, e quanto maior a queda mais o fóton será de alta energia, sendo assim a produção da luz estará relacionada ao material semicondutor utilizado na construção do LED (MARTELETO, 2011).

De acordo com a **(Figura 4)**, o diodo contém materiais diferentes, como um semicondutor tipo P que tem lacunas em sua configuração e carga positiva, e um semicondutor tipo N que tem um excesso de elétrons que lhe confere uma carga negativa. Diante uma diferença de potencial negativa, aplicada do lado do semicondutor N os elétrons livres e as lacunas do

semicondutor tipo P se deslocam pelo campo em direção a junção p-n. (INDUSTRIAL, 2003).

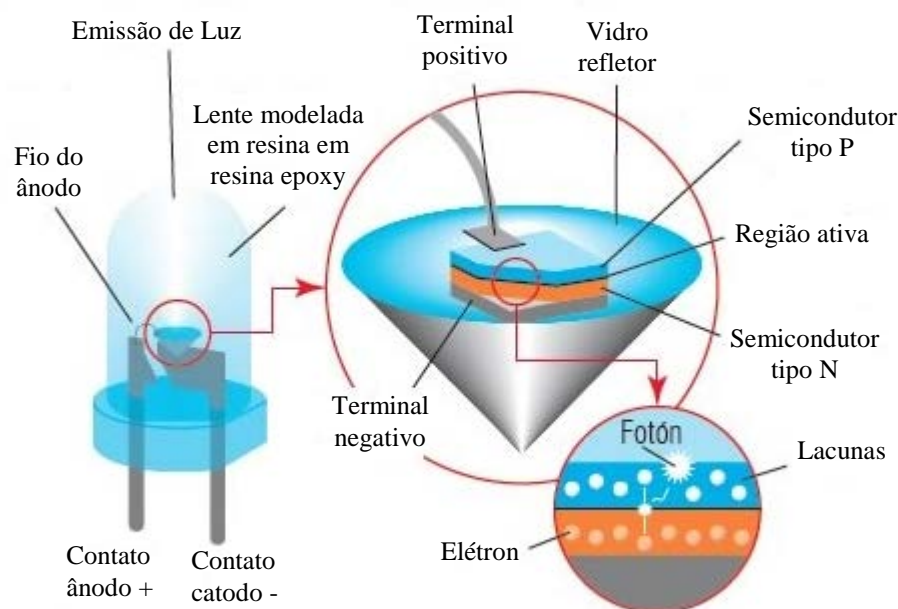


Figura 4 - Esquema do LED

Fonte: Iluminación Industrial (2001)

Na junção o elétron se encontra com a lacuna, recombinando-se, ou seja, o átomo fica neutro, deixando de ser uma lacuna e o elétron de ser livre. Na recombinação o elétron transferido para o estado inferior libera energia na forma de fóton, realizando a emissão de luz visível. As cores emitidas correspondem a energia dos fótons, sendo azul e violeta fótons com maior energia e a vermelha e amarela com menor energia (YEH & CHUNG, 2009).

### 2.3.1 - Características elétricas

Os pontos mais relevantes dos LED's segundo (BENEVIDES et al., 2010) são:

- Tensão reversa máxima: Tensão máxima suportada pelo LED, podendo ocorrer danos caso excedido. Apesar de diodos comuns suportar a tensões inversas (acima de 100V), a maioria do LED's tem limites normais entre 4 e 6 volts;

- Tensão direta: é a tensão adotada para haver o processo de produção de luz tendo normalmente baixo valor. Conforme suas características, como a cor, a tensão direta estará entre 1,5 e 2 V.
- Corrente máxima direta: com grande importância, este parâmetro regula a luminosidade máxima. Sendo a luminosidade do LED diretamente proporcional à corrente, este valor não deve ultrapassar a corrente máxima direta que para a maioria dos LED's está entre 40 e 50mA, podendo ocorrer danos irreparáveis.

## 2.4 - Arduino

Com o início dos microcontroladores, as dificuldades que surgiam eram resolvidas apenas usando-se *hardware*. Com os avanços tecnológicos possibilitou um mesmo circuito realizar funções completamente diferentes, através de reprogramação alterando os parâmetros dos programas (SILVA, 2014).

Com a ideia de que qualquer pessoa, sem ter o conhecimento de matérias específicas de engenharia, possa criar projetos tecnológicos, um grupo de italianos desenvolveu o Arduino que teve seu início na Itália em 2005, e tem como finalidade controlar projetos e protótipos de forma mais simples. O Arduino fundamenta-se em uma plataforma *Open-source*, o qual pode-se programar para processar entradas e saídas entre o Arduino e componentes externos conectados (MCROBERTS, 2011).

O Arduino é um computador que cabe na palma da mão, considerado um computador porque possui microcontrolador (ATmega328P), memória flash, temporizador, contadores, pinos de entrada e saída digitais e analógicos, cristal de quartzo de 16 MHz, conexão USB, dentre outras coisas. O Arduino possui diversas placas/modelos diferentes que podem ser utilizadas ou combinados, sendo algumas (JUSTEN, 2015):

- Arduino UNO;
- Arduino Ethernet;
- Arduino Nano;
- Arduino Mega;
- Arduino Mini;

A placa utilizada neste projeto e também frequentemente usada pela comunidade foi o Arduino UNO R3. O modelo UNO que está na versão 3 é um excelente método de aprendizagem para quem está começando, apresenta um *hardware* mínimo, conectividade USB e facilidade de programar, tornando-se muito didático, multifuncional e simples de usar (**Figura 5**).

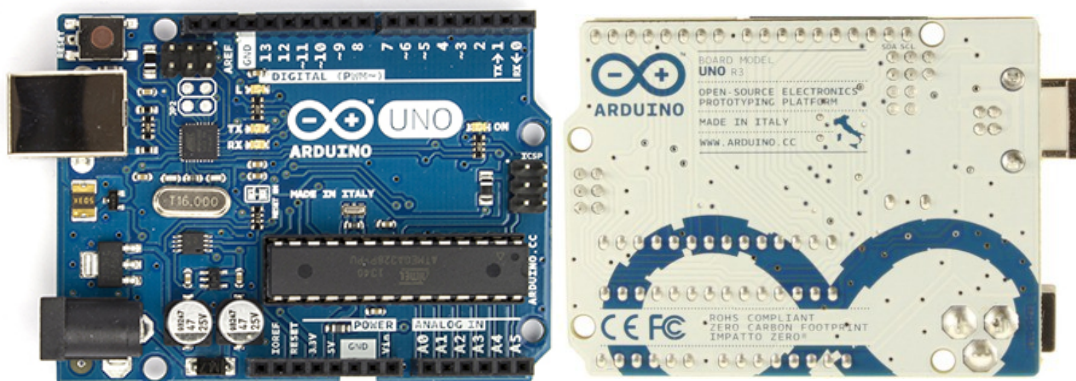


Figura 5 - Arduino Uno

Fonte: Autoria própria

A Placa Arduino UNO R3 é composta de diversos componentes e segundo (SOUZA, 2013), ela está explicada na **(Figura 6)**.

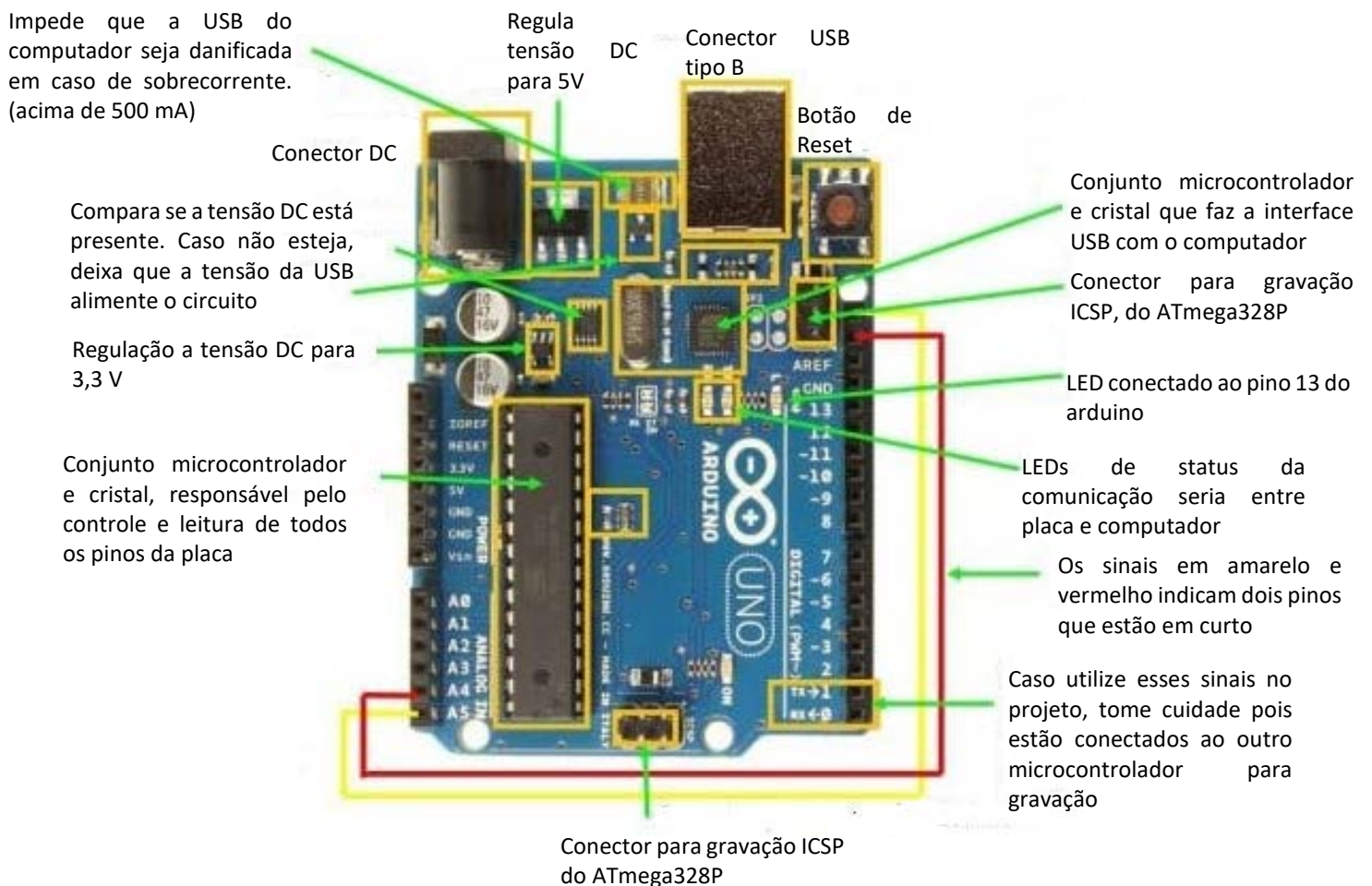
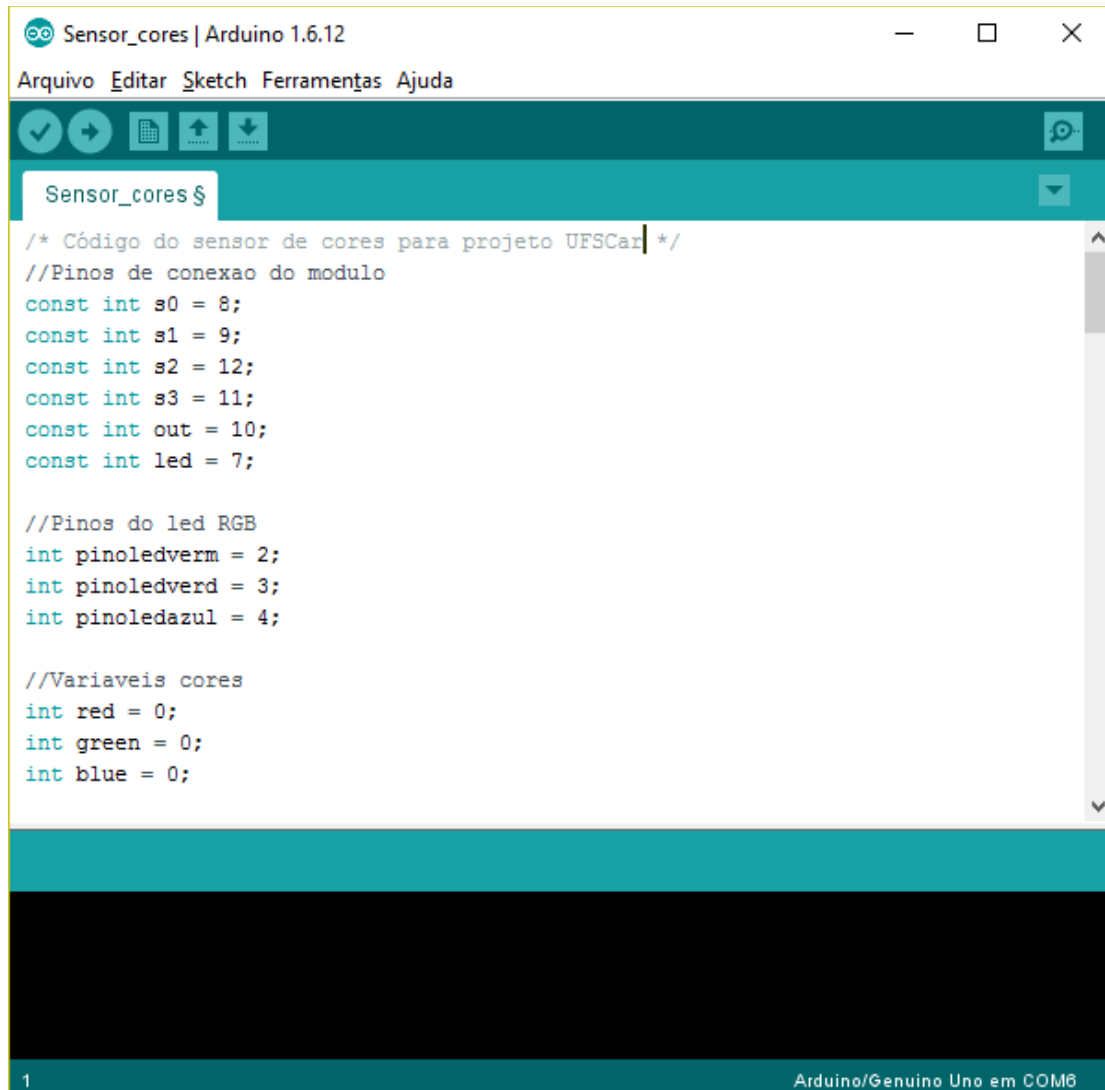


Figura 6 - Função dos componentes do Arduino UNO

Fonte: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>

O Arduino é programável através de um *software* utilizando uma linguagem própria baseada em C/C++, que depois do código compilado faz com que o *hardware* execute determinadas ações. Por ser uma plataforma *open-source*, uma comunidade realmente ativa publica seus projetos e códigos de aplicação, a modificação e ampliação pode ocorrer por qualquer pessoa com conhecimento em programação (MELO, 2012). O *software* Arduino **(Figura 7)** é o ambiente de programação mais recomendado para o desenvolvimento do código e pode ser baixado no site <http://www.arduino.cc/en/Main/Software>.



```
Sensor_cores $
/* Código do sensor de cores para projeto UFSCar */
//Pinos de conexao do modulo
const int s0 = 8;
const int s1 = 9;
const int s2 = 12;
const int s3 = 11;
const int out = 10;
const int led = 7;

//Pinos do led RGB
int pinoledverm = 2;
int pinoledverd = 3;
int pinoledazul = 4;

//Variaveis cores
int red = 0;
int green = 0;
int blue = 0;
```

1 Arduino/Genuino Uno em COM8

Figura 7 - Software para programação Arduino

Fonte: Autoria própria

## 2.4.1 - Sensores para Arduino

### 2.4.1.1 - Sensor de Cor TCS3200

O sensor TCS3200 (**Figura 8**), é um sensor que converte luz em frequência e contém 64 de fotodiodos, dezesseis fotodiodos com filtros azuis, dezesseis fotodiodos com filtros vermelhos, dezesseis fotodiodos com filtros verdes e dezesseis fotodiodos sem filtros. Já os LED's brancos são para auxiliar a leitura podendo ser desligados caso seja necessário (TAOS, 2009).

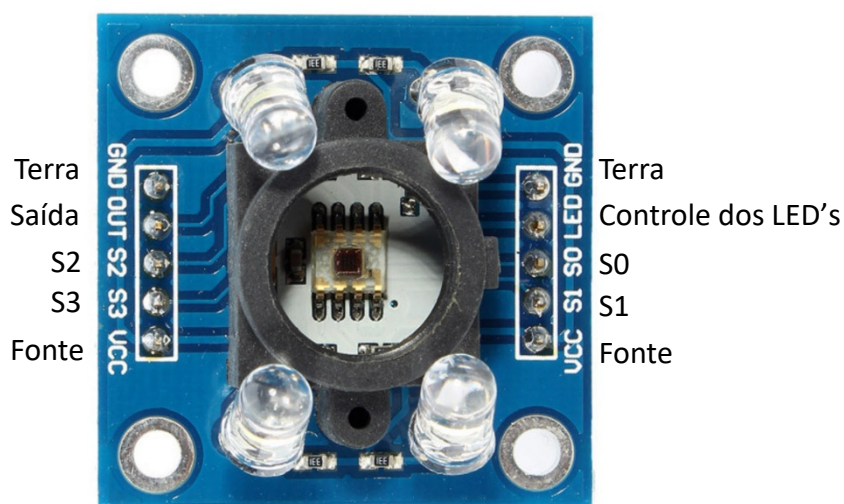


Figura 8 - Sensor de Cor TCS3200

Fonte: Autoria própria

A função e descrição dos pinos do sensor de cores está descrito na **(Tabela 2)** abaixo:

Tabela 2 - Descrição dos pinos do sensor de cores TCS3200.

PINO	NOME	DESCRIÇÃO	PINO	NOME	DESCRIÇÃO
1	GND	Terra	6	VCC	<b>ALIMENTAÇÃO 2,7-5V</b>
2	OUT	Saída	7	S1	<b>PINO DE CONTROLE</b>
3	S2	Pino de controle	8	S0	<b>PINO DE CONTROLE</b>
4	S3	Pino de controle	9	LED	<b>CONTROLE DOS LED'S</b>
5	VCC	Alimentação 2,7-5V	10	GND	<b>TERRA</b>

A frequência de saída é estabelecida pelos pinos S0 e S1, e a cor detectada será determinada pelos pinos S2 e S3 como mostrado na **(Tabela 3)** abaixo:

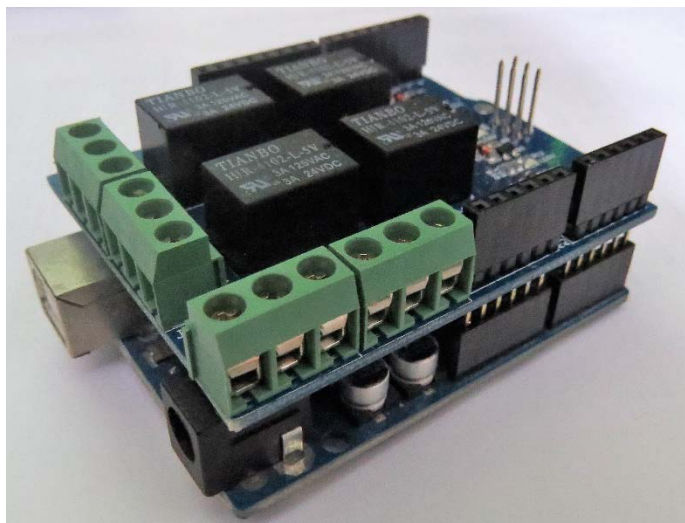
Tabela 3 - Escala de frequência de saída.

PINO		ESCALA DE FREQUÊNCIA DE SAÍDA	PINO		FOTODIODO
S0	S1		S2	S3	
<b>BAIXO</b>	Baixo	Desligado	Baixo	Baixo	Vermelho
<b>BAIXO</b>	Alto	2%	Baixo	Alto	Azul
<b>ALTO</b>	Baixo	20%	Alto	Baixo	Sem Filtro
<b>ALTO</b>	Alto	100%	Alto	Alto	Verde

#### 2.4.1.2 - Modulo Relé

Relés são dispositivos eletromecânicos, com diversas aplicações em comutação de contatos elétricos, controlando circuitos de grandes tensões e correntes por meio de pequenas tensões e correntes de outros circuitos. Tem como funcionamento básico a bobina do relé, que recebe uma corrente do circuito de controle com pequenas tensões e correntes, gerando desta forma um campo magnético que aciona o segundo circuito, fechando o contato (MAIA, 2012).

O módulo de relé 5V utiliza quatro canais (**Figura 9**) que controlam a carga de alta corrente. Permitindo controlar dispositivos que não poderiam ser comandados pelas entradas e saídas digitais do Arduino.



*Figura 9 - Modulo Relé de 5V para o arduino UNO*

Fonte: Aatoria própria

### 2.5 – Efeito da luz no crescimento de plantas

A luz é um fator primordial para as plantas ao longo de toda sua vida, da germinação até a produção de flores e sementes. Existem três parâmetros importantes sobre a luz no crescimento das plantas que são: qualidade, quantidade e duração (NISHIO, 2000). De acordo com (SINGH et al., 2015) esses fatores têm diferentes efeitos nas plantas:

- A quantidade (intensidade): é um fator principal que afeta a fotossíntese, provocando uma reação fotoquímica dentro dos cloroplastos das células vegetais que usa a energia luminosa para converter CO<sub>2</sub> em oxigênio.
- A qualidade: refere a faixa espectral da radiação, se está no visível ou invisível. A distribuição espectral da luz causa efeitos na forma, no desenvolvimento e na floração. As plantas têm uma melhor resposta para a luz vermelha e azul.
- Duração: o tempo de incidência da luz afeta diretamente a floração, podendo ser controlada.

As plantas são seletivas com relação a absorver o comprimento de onda adequado. A parte mais importante no espectro de radiação para as plantas está entre 400-700 nm, correspondendo aproximadamente a luz visível. A clorofila (a e b) tem um papel importante na fotossíntese, e um outro conjunto de pigmentos conhecidos como antenas, os carotenóides, também têm um papel na absorção da luz (CHEN, 2014).

## 2.5 - Rúcula

Conhecida por designar o cultivo de plantas de consistência herbácea, o termo olericultura deriva do latim: olus (hortaliça) e colere (cultivar). Uma classificação antiga das hortaliças, passando a ser usada com algumas modificações pelo sistema nacional de abastecimento (BEVILACQUA, 2013):

- Hortaliças tuberosas: partes utilizáveis que se desenvolvem dentro do solo, que são bulbos (cebolas, alho), raízes tuberosas (cenoura, beterra, etc) e rizomas (inhame);
- Hortaliças herbáceas: parte aproveitáveis acima do solo, que são as folhas (alface, taioba, rúcula), talos (aspargo, aipo), flores e inflorescência (couve-flor, brócolis);
- Hortaliças-fruto: utiliza-se o fruto, verde ou maduro (melancia, quiabo, tomate, ervilha).

Analisando a produção de hortaliças de 1962 a 2012, observamos um aumento de hectares de um milhão (1962) para 1,5 milhões (2012), e um aumento de produção de 6,98 milhões de toneladas para 16 milhões na mesma época, considerando os países da América do Sul. O Brasil participa com 60% desta área, a Argentina com 14%, a Colômbia com 7%, Chile com 4%, e os demais perfazem um total de 5% (SEEDNEWS, 2016).

No Brasil 800 mil hectares é uma área aproximada para produção de hortaliças, tendo como produção 16 milhões de toneladas, gerando 2,4 milhões de empregos diretos e renda superior a 8 bilhões de reais (HORA et al., 2004 & PURQUERIO & TIVELLI 2008).

Para garantir o bem-estar físico e mental de um indivíduo é preciso uma alimentação saudável cuja o valor nutricional supra as necessidades do corpo humano. Mediante o cenário atual o qual temos fácil acesso a comidas gordurosas, cheias de açúcares e sódio, temos ficado com um déficit nutricional, prejudicando nossa vida individualmente e socialmente. Muitos estudos estão sendo feitos comprovando os benefícios nutricionais das verduras, legumes e frutas, que contém vitaminas como A, E, K, B1, B2, C, minerais como Cálcio, Ferro, Potássio, dentre outros (BEVILACQUA, 2013).

De consumo habitual desde a antiguidade (MORALES & JANICK, 2002), a rúcula tem sua primeira aparição no século I, no herbário Grego Dioscorides. Da família *Brassicaceae*, a rúcula (*Eruca sativa*) teve sua domesticação com o gênero *Eruca* no Mediterrâneo e o oeste da Ásia (SILVA, 2004).

A classificação Taxonômica é:

- Reino: *Plantae*
- Divisão: *Magnoliophyta*
- Classe: *Magnoliopsida*
- Ordem: *Brassicales*
- Família: *Brassicaceae*
- Gênero: *Eruca*
- Espécie: *Eruca sativa*

Possui como característica física, estatura baixa em torno de 15 a 20 cm, e folhas parcialmente espessas e divididas (FIGUEIREDO, 2003).

O nome rúcula reuni várias espécies da família *Brassicaceae* (SANTAMARIA et al., 1998). Para consumo humano, três espécies são aplicadas: *Eruca sativa* Miller, *Diplotaxis tenuifolia* (L) DC. e *Diplotaxis muralis* (L.) DC. (PIGNOME, 1997).

No Brasil a espécie de Rúcula mais apreciada para consumo é a *Eruca sativa* Miller, sendo a cultivar de maior preferência a cultivada gigante - folha larga (**Figura 10**), suas características diferenciadas pelas folhas que podem ter bordas recortadas ou lisas (SALA et al., 2004).



Figura 10 - Rúcula Cultivada Gigante - Folha Larga

Fonte: <http://www.tocadoverde.com.br/rucula-cultivada-gigante-folha-larga.html>

O Brasil sempre teve um grande consumo de alface, porém a partir da década de 90, a rúcula começou a ter uma importância maior no consumo brasileiro e no final da década 2000 uma porcentagem expressiva economicamente, tornando-se um forte concorrente da cultura do alface, chegando em alguns momentos a ter o mesmo retorno financeiro ou maior (OLIVEIRA, 2008).

Além da rúcula ser um grande depurativo (purificador do sangue), ela tem sua importância alimentar por ser rica em vitamina C, E, fibras, proteínas, potássio, cálcio, ferro, enxofre, propriedades anti-inflamatórias e desintoxicantes (TRANI & PASSOS, 1998).

As folhas da rúcula, assim como de outras plantas, possuem um determinado número de pigmentos corados, pertencentes a duas categorias, sendo elas: clorofilas e carotenóides (APARECIDA, 2011).

## 2.6 - Clorofila

A clorofila foi nomeada em 1818 por Pelletier e Caventou, para indicar a substância verde que podia ser extraída com álcool (STREIT & CANTERLE, 2005). Organismos fotossintéticos contêm pigmentos verdes chamados clorofila, que estão localizados nas células vegetais em organelas conhecidas como cloroplastos (SCHWARTZ & LORENZO, 1990). A clorofila presente em um processo metabólico considerado primordial, é um pigmento absorvedor de luz da fotossíntese (LEHNINGER, 1976).

Dentre os pigmentos fotossintéticos, a clorofila a (*Chl a*) faz parte dos espécimes que realizam fotossíntese oxigênica. No início do processo fotossintético a *Chl a* é responsável por realizar a fotoquímica, outros pigmentos propiciam a absorção da luz e na transferência da energia radiante para centros de reação, como a clorofila b (*Chl b*) presente em algas verdes, algumas bactérias e vegetais superiores, clorofila c (*Chl c*) presente em feofitas e diatomáceas e a clorofila d (*Chl d*) presentes em algas vermelhas (TAIZ & ZIEGER, 2004).

A porfirina é um pigmento tetrapirrólico macrocíclico, formado por quatro anéis pirrólicos (4 carbonos e 1 hidrogênio, ligados por ligação metínicas - CH). A clorofila deriva da porfirina e os quatro anéis de pirrol estão ligados a um átomo de magnésio central (SCHOEFS, 2002). Diferenciando a *Chl a* da *Chl b*, está o grupo metil (-CH<sub>3</sub>) no C-3 na clorofila a e o grupo aldeído (-CHO) na clorofila b que substitui o grupo metil -CH<sub>3</sub> (**Figura 11**) (VON ELBE, 2000).

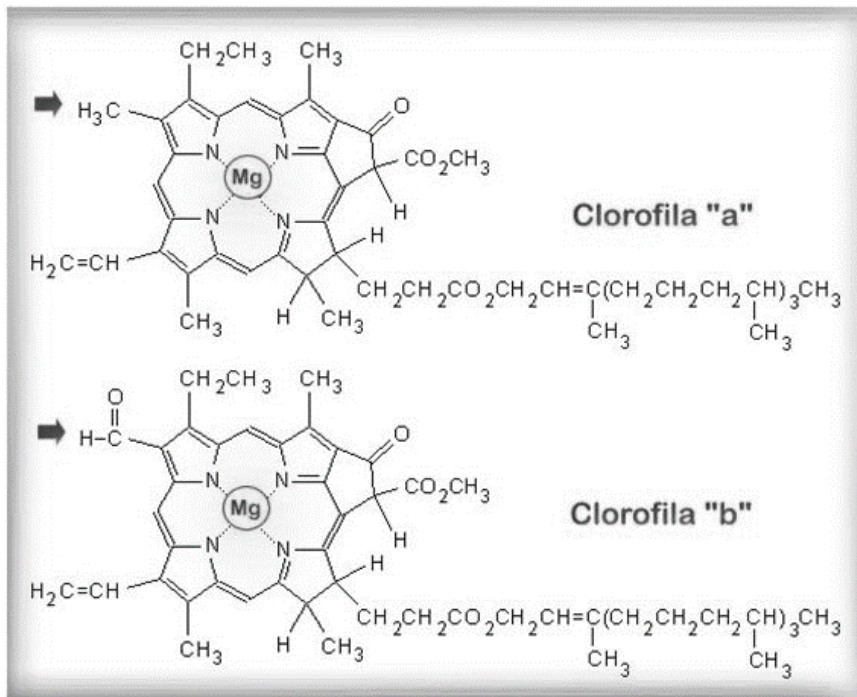


Figura 11 - Esquema químico da clorofila a e b.

Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/01/clorofila-a-b.jpg>

As clorofilas a e b que são encontradas nos cloroplastos estão dispostas numa razão 3:1, sendo o local onde ocorrem duas reações de grande importância: a fotoquímica, nas membranas dos tilacóides e a bioquímica, no estroma do cloroplasto. Uma forma de diferenciação da clorofila a e b são os espectros de absorção que são levemente diferentes, apresentando uma tonalidade verde azulada para clorofila a e verde amarelada para clorofila b (SCHWARTZ & LORENZO, 1990; LEHNINGER et al, 1995).

Os pigmentos diretamente aplicados na fotossíntese são a clorofila a e os pigmentos acessórios (KLUGE, 2004).

Todas as moléculas de clorofila podem absorver apenas 1 quantum de energia por vez, causando excitação de um elétron de um dos átomos da molécula. Os elétrons dos orbitais do estado estável do átomo, deslocam-se para orbitais mais distantes do núcleo de forma proporcional à energia do fóton que foi absorvida. A energia de excitação usada na fotossíntese ocorre através da molécula do pigmento excitado. Esse estado de excitação mantém-se por períodos muito curtos ( $10^{-9}$  segundos), as clorofilas e outros pigmentos perdem essa energia por calor e/ou fluorescência (ROMANO, 2001).

Correlacionando o espectro de absorção de cada pigmento com a taxa de fotossíntese, observamos na **(Figura 12)** que entre 400nm e 500nm temos uma elevada capacidade de absorção e uma alta taxa de fotossíntese, o que volta a ocorrer quando incidimos o vermelho. Essa relação de luz com os pigmentos fotossintéticos é essencial para a realização da fotossíntese.

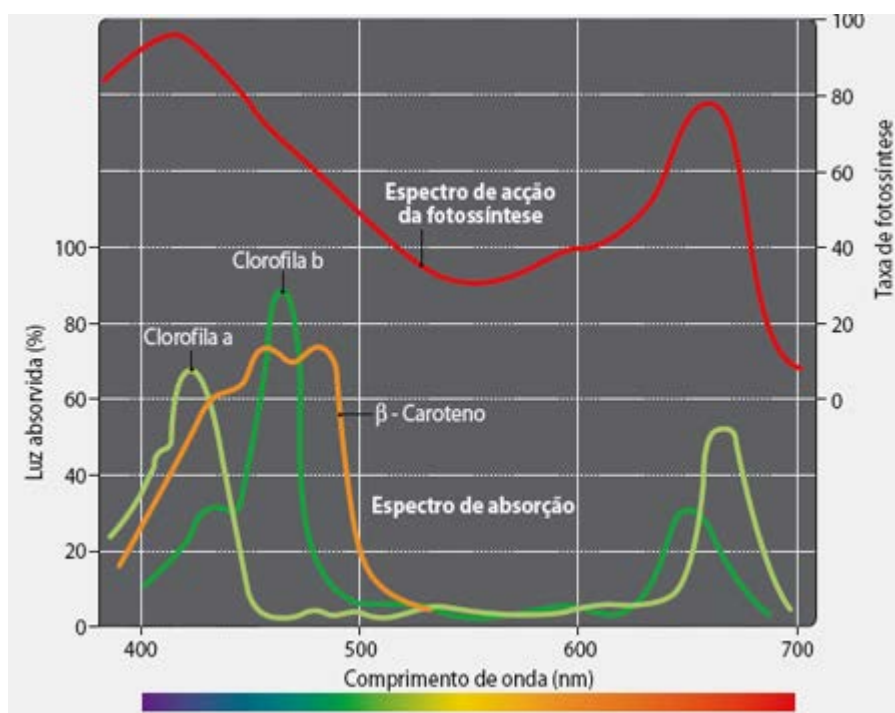


Figura 12 - Espectro de absorção dos pigmentos fotossintéticos comparados com a taxa de fotossíntese.

Fonte: [http://biogeolearning.com/site/v1/wp-content/uploads/2012/11/grafico\\_pigmentos\\_areaLEDitores450.png](http://biogeolearning.com/site/v1/wp-content/uploads/2012/11/grafico_pigmentos_areaLEDitores450.png)

## 2.7 - Carotenóides

Os carotenóides presentes na natureza fazem parte de um grande grupo de pigmentos, tendo uma produção estimada de 100 milhões de toneladas por ano (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989). Apresentam cores que vão do amarelo ao vermelho, e são encontrados em vegetais, fungos, bactérias e algas podendo ser fotossintetizantes ou não (UENOJO et al., 2007).

Localizados nos cromoplastos e nos cloroplastos que estão associados com a clorofila, os carotenóides protegem a clorofila e o aparelho fotossintético da fotodegradação, como também a absorção de luz em um comprimento de onda diferente da clorofila, ocorrendo desta forma um aumento no potencial energético do sistema (GIORI, 2010).

Através de um sistema de duplas ligações, os carotenóides constituem o grupo cromóforo que propicia a cor aos alimentos, as ligações são interatômicas, entre os átomos de carbono, chamadas de conjugadas (VILLELA, 1976). Responsável pelas cores: amarela, laranja e vermelha nos alimentos, a cor está diretamente relacionada com a quantidade e tipo de pigmento presente (CHITARRA & CHITARRA, 1990). A cor amarela é caracterizada por no mínimo sete ligações conjugadas, com um acréscimo no número de ligações conjugadas, é observado um aumento nas bandas de absorção e maiores comprimentos de onda, tornando os carotenóides mais avermelhados (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

Os carotenóides de origem vegetal são provitaminicos (que podem ser transformados em vitamina A), como o  $\beta$ -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 1989). A partir do  $\beta$ -caroteno, origina-se o nome dos carotenos. São hidrocarbonetos insaturados, compostos de unidade de isoprenos poliênicos formados por oito unidades de isoprenos (**Figura 13**) (GROSS, 1991; AMAYA, 1982).

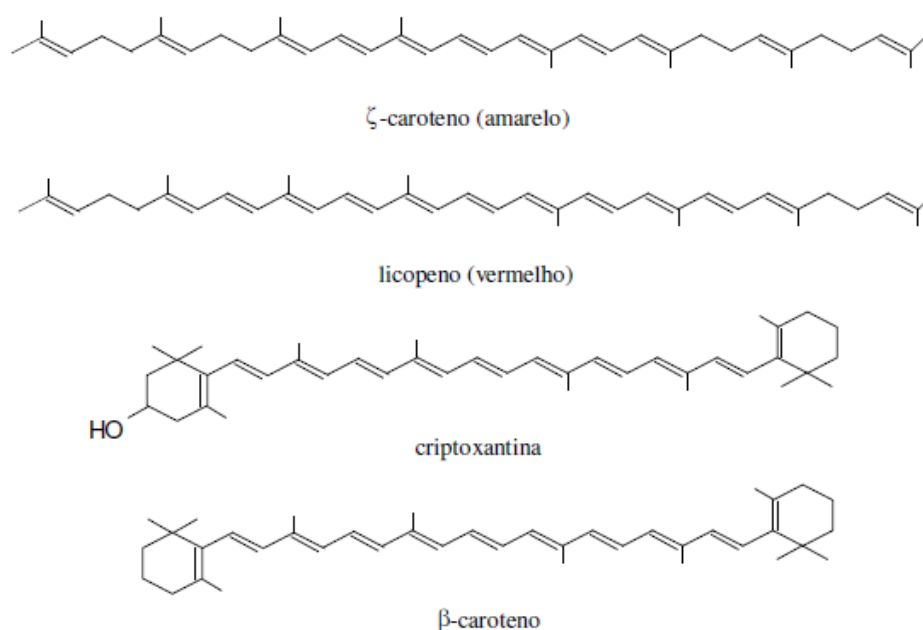


Figura 13 - Carotenoides

Fonte: Fernandes (2011)

Os carotenóides são susceptíveis à oxidação, devido ao alto grau de insaturação (FARKAS, 2000).

Os carotenóides, pigmentos acessórios, são dependes da qualidade e quantidade de luz, e tem seu espectro de absorção, (**Figura 12**), mais eficiente no azul e ultravioleta (VICTÓRIO et al., 2007).

Além de terem importantes funções nos vegetais, eles têm uma importância para a saúde, como um efeito na resposta imune e na comunicação intracelular, trazendo benefícios contra doenças relacionadas ao envelhecimento e indícios de proteção contra doenças crônicas, dentre outros benefícios (UENOJO et al., 2007).

### 3 – Justificativas e Objetivos

Este projeto tem como foco principal o estudo dos efeitos biológicos de campos eletromagnéticos não ionizantes contemplando a faixa de micro-ondas e luz visível para o desenvolvimento de um dispositivo com aplicação na agricultura.

A rúcula foi escolhida para este estudo por ser de rápida germinação, quase não existir trabalhos envolvendo rúcula e irradiação com ondas eletromagnéticas, por ter se tornado uma hortaliça competitiva à alface (atualmente a hortaliça mais consumida no Brasil) e pelo seu atrativo econômico, obtendo em alguns casos renda líquida maior que a alface.

O dispositivo desenvolvido deverá ser aplicado como sensor na olericultura, que auxiliará identificando as melhores frequências de ondas eletromagnéticas na faixa da luz visível para a otimização do plantio.

#### Objetivos

Neste trabalho vamos verificar a interação de campos eletromagnéticos na faixa da luz visível e com 2,4 GHz na rúcula, analisando a sua biométrica, biomassa, pigmentos e minerais no final da sua germinação.

#### Objetivos Específicos

- Realizar medidas de biométrica (tamanho da folha, parte aérea e raiz da rúcula);
- Analisar os parâmetros físico-químicos (Massa Úmida, Seca, pH e Sólidos Solúveis Totais);
- Análise dos pigmentos (Clorofila a, b, totais e carotenóides)
- Análise dos macros e micronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Zinco (Zn);
- Montagem de um dispositivo que analisa a intensidade da luz em cores RGB (*Red, Green e Blue*), otimizando o plantio de hortaliças.

## 4 – Materiais e Métodos

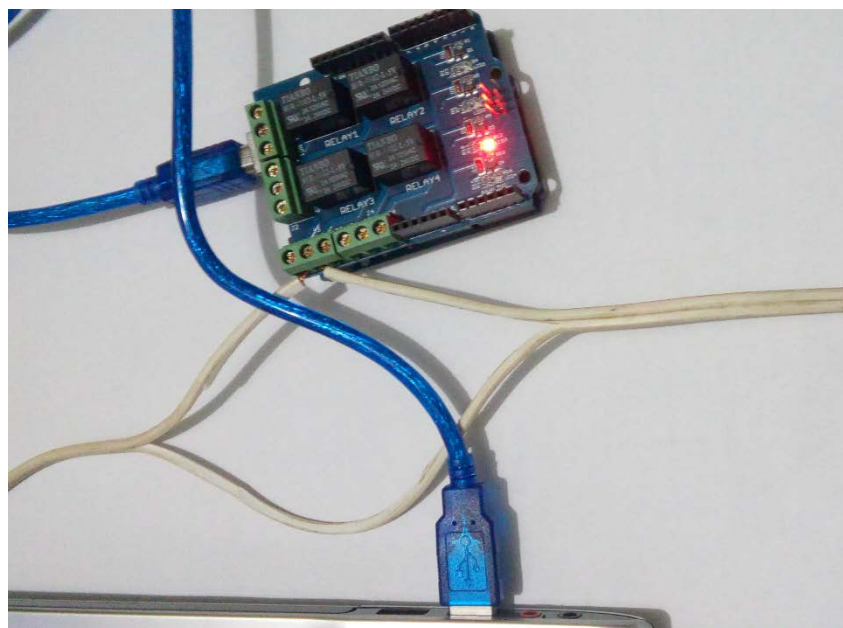
### Laboratórios

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Microbiologia e Biomoléculas (LaMiB), no Grupo de Análise Instrumental Aplicada (Gaia) dentro do departamento de Química e no departamento de Engenharia Química (DEQ), todos na Universidade Federal de São Carlos - SP e na Empresa Pecuária Sudeste localizada em São Carlos - SP.

### 4.1 – Preparo dos dispositivos eletrônicos

#### 4.1.1 - Módulo Relé

O módulo relé foi montado e programado para automatizar o acionamento dos LED's mantendo-os acesso por 8 horas e desligados por 16 horas através de código de programação verificar (ANEXO A). A montagem física pode ser verificada na **(Figura 14)**.



*Figura 14 - Configuração dos fios no modulo relé.*

#### 4.1.2 – Sensor de Cores TCS3200

O sensor de cores capta a intensidade da luz através dos seus fotodiodos, determinando a cor que é incidida. Através dos valores obtidos durante a incidência de luz no tratamento das amostras e analisando os resultados físico-químicos, pode-se determinar os melhores valores para estimular uma resposta escolhida previamente.

A montagem do sensor no arduino UNO R3 está descrita na **(Tabela 4)** abaixo e melhor visualizada na **(Figura 15)**.

Tabela 4 - Configuração das ligações do sensor TCS3200 no Arduino UNO R3.

<i>Sensor</i>	<i>Porta</i>	<i>Ligação</i>	<i>Porta</i>	<i>Arduino</i>
<i>Pino de controle</i>	S1	↔	9	<i>Porta Digital</i>
<i>Pino de controle</i>	S0	↔	8	<i>Porta Digital</i>
<i>Controle dos LED's</i>	LED	↔	5	<i>Porta Digital</i>
<i>Alimentação 2,7-5V</i>	VCC	↔	5V	<i>Alimentação 5v</i>
<i>Pino de controle</i>	S3	↔	11	<i>Porta Digital</i>
<i>Pino de controle</i>	S2	↔	12	<i>Porta Digital</i>
<i>Saída</i>	OUT	↔	10	<i>Porta Digital</i>
<i>Terra</i>	GND	↔	GND	<i>Terra</i>

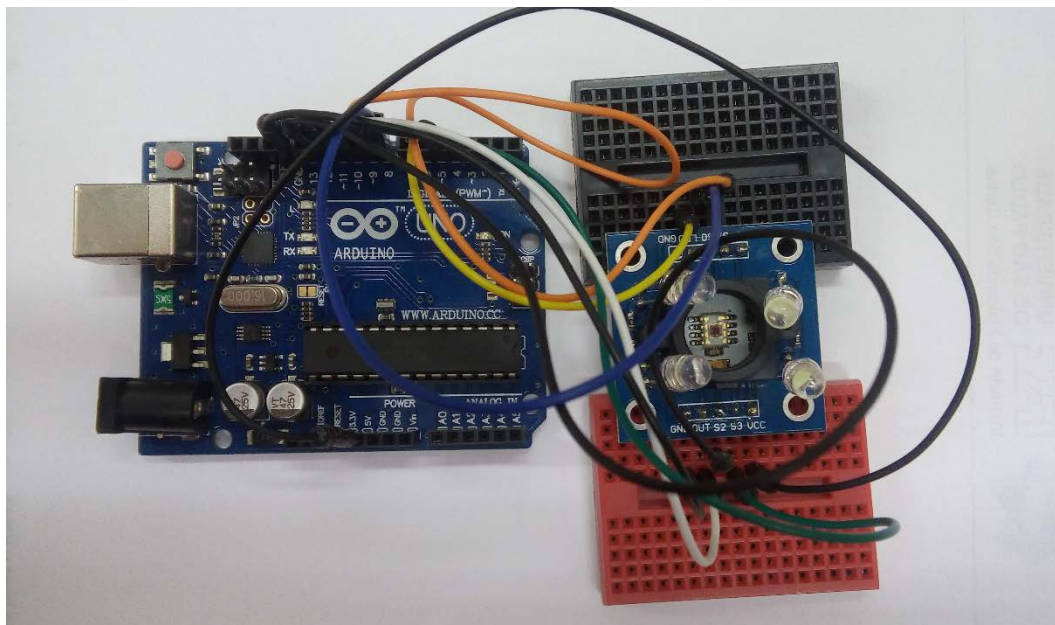


Figura 15 - Montagem do sensor TCS3200 na placa Arduino UNO.

## 4.2 – Tratamento das amostras

As plantas de rúcula, foram cultivadas no meio da estação do verão, tendo como localização latitude: -21,9972511 e longitude: -47,9173161. Segundo (MATHIAS, 2015), a melhor época de plantio no estado de São Paulo, vai de março a julho.

A semeadura ocorreu em caixas de papelão com dimensões: 30 x 19 x 6 cm, tendo 3 cm de substrato, para o plantio foram usadas sementes em pacotes de 4g contendo um número aproximado de 2200 sementes (**Figura 16**), do lote: 40484-S2, regadas através de um borrifador todos os dias no período da manhã como 200 ml de água. O substrato utilizado para plantio foi terra vegetal sem adição de adubo da empresa *Green Garden*.



*Figura 16 - Semeadura de Rúculas Cultivada Gigante - Folha Larga.*

Fonte: A autoria própria

As amostras foram submetidas a 5 condições diferentes de tratamentos, sendo um o controle, outros três irradiados com ondas eletromagnéticas na faixa da luz visível azul, verde e vermelho e um tratamento irradiando com ondas eletromagnéticas na faixa de 2,4GHz (**Figura 17**).

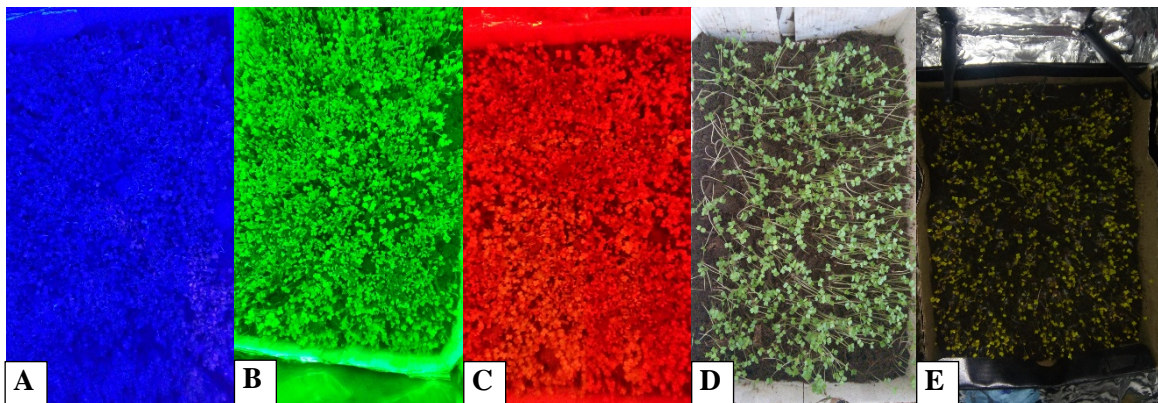


Figura 17 - A - Tratamento com luz azul, B - Tratamento com luz verde, C - Tratamento com luz vermelha, D - Controle e E - Tratamento com 2,4GHz

Fonte: Autoria própria

Nas amostras irradiadas com ondas eletromagnéticas na faixa da luz visível (LED's) foi realizado um tratamento 8x8x8 por 7 dias, sendo 8 horas claridade solar, 8 horas luz LED e 8 horas noite, as amostras tratadas por ondas eletromagnéticas na faixa de 2,4GHz, foram irradiadas por 7 dias durante 24 horas recebendo claridade solar por 12 horas e 12 horas noite e as amostras controle 12 horas claridade solar e 12 horas noite.

#### 4.3 – Determinação dos Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os teores de sólidos solúveis totais foram obtidos através da maceração das amostras dos tratamentos da rúcula até a obtenção de um produto líquido. A análise foi expressa em °Brix, e foi utilizado um refratômetro digital marca Analytik Jena (AOAC, 1997).

#### 4.4 – Cálculos das Concentrações de Clorofila a, b e Carotenos

A clorofila a, b e carotenóides seguiu a metodologia utilizada por (STOCKER et al., 2010), foi retirado 250 mg de folhas de rúcula, optando pelas mais vistosas visualmente. Essa amostra foi macerada em um almofariz após adicionar 1,25 ml de acetona 80% (v/v) e posteriormente removida e alocada em um tubo de 1,5 ml. O material foi agitado no vórtex (marca Phoenix, modelo

AP 56) (**Figura 18A**) por 5 minutos e colocado na centrífuga (marca ministar) (**Figura 18B**) por 30 segundos, o sobrenadante foi transferido para um tubo cônico e avolumado até 6,25 ml com acetona 80% (v/v). Os extratos foram transferidos para cubetas e os valores da absorbância foram verificados por um espectrômetro (marca biospectro, modelo SP-22) (**Figura 18C**) com os seguintes comprimentos de onda A647 e A663, para clorofila a e b, e A470 para carotenoides.

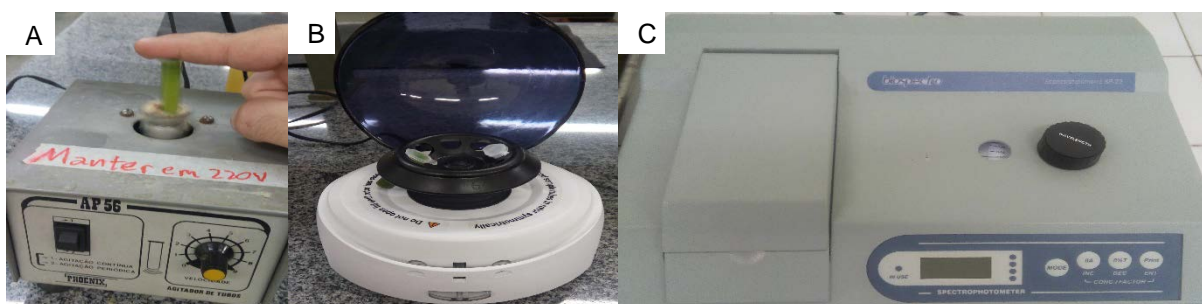


Figura 18 - A) Vortex marca Phoenix B) Centrífuga Spin marca ministar e C) Espectrofotômetro marca Biospectro.

Fonte: Autoria própria.

O cálculo para as concentrações de clorofilas a, b e total foram realizadas através da equação proposta por (HISCOX & ISRAELSTAM, 1979), clorofila a ( $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$ ) =  $12,21*(A663)-2,81*(A646)$ , clorofila b ( $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$ ) =  $20,13*(A646)-5,03*(A663)$  e a estimativa da concentração da clorofila total foi feita a partir da equação de (LICHTENTHALER, 1987), clorofila total ( $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$ ) =  $7,15*(A663)+18,71*(A647)$ .

Os carotenóides totais foram analisados a partir dos mesmo extratos da clorofila, utilizando a equação de (LICHTENTHALER & WELBURN, 1983), carotenóides ( $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$ ) =  $1000*(A470)-3,27*(\text{clorofila a})-104*(\text{clorofila b})/229$ .

#### 4.5 – Determinação do pH

Para determinar o pH das amostras, foram separadas de cada tratamento porções de 2,5 g utilizando 5,5 ml de água destilada de forma proporcional (FERNANDES, 2011). Através da homogeneização das amostras trituradas, maceradas e adicionado água destilada, o pH foi verificado utilizando um medidor de pH digital marca (Tecnal modelo Tec-3MP).

## 4.6 – Quantificação de Minerais

### 4.6.1 – Preparação das amostras

Para a preparação das amostras, segundo (MENEZES et al., 2012), com adaptações, as folhas foram lavadas com água destilada para tirar todo substrato, e em seguida foram secas em estufa a 55-60 °C durante 48 horas. Posteriormente, as amostras passaram pelo moinho de micro moagem da marca (Micro moinho de facas tipo Willye TE-648) (**Figura 19**).



*Figura 19 - Micro moinho de facas.*

Fonte: Autoria própria.

### 4.6.2 – Digestão das amostras

Para realizar a digestão das amostras, foram pesados 200 mg (em triplicata) e depositadas em camisas, adicionando 2 ml de Peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), 6 ml Ácido nítrico ( $HNO_3$ ), posteriormente foi aquecido (**Tabela 5**) e avolumado para 20ml com  $H_2O$ .

Tabela 5 - Programa de Aquecimento utilizado na digestão das amostras.

Programa de Aquecimento

Tempo (min)	Potência (W)	Temperatura (°C)
5	1000	200
10	1000	210
15	1000	220

Ao término, aguardar 30 min para resfriamento

#### 4.6.3 - Espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES)

O princípio desta técnica baseia-se na propriedade dos átomos de emitirem radiação eletromagnética, quantificando elementos como metais, semimetais e terras raras. Esta técnica utiliza uma fonte de excitação (plasma de argônio) à uma temperatura de aproximada de 6726 até 9726 °C, produzindo átomos excitados, que estão no centro do plasma sob forma de neblina. Estes átomos excitados produzem radiação em comprimentos de onda na faixa de 166-847 nm que são captados por um complexo sistema óptico (SILVA, 2015).

O espectrofotômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES) utilizado nas análises foi o iCAP 6000 Series (Thermo Scientific, USA) (**Figura 20**).



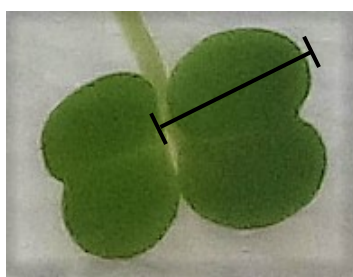
Figura 20 - Espectrofotômetro (ICP OES) iCAP 6000.

Fonte: Autoria própria

A curva analítica foi desenhada nos seguintes pontos 0, 0,1, 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 25, 50 ppm, para analisar os analitos Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Sódio (Na) e Zinco (Zn).

#### 4.7 – Análise da Biomassa

Cada parte das amostras (folha, caule e raiz) foram medidas com um paquímetro digital e sua unidade dada em milímetros. No caso das folhas, as medidas ocorreram como mostrado na **(Figura 21)**. O número de amostras medida foi de 188 em cada tratamento, sendo feito em triplicata.



*Figura 21 - Medição da folha em milímetros.*

Fonte: Autoria própria

#### 4.8 – Análise Estatística

Os resultados das análises das amostras foram tratados estatisticamente utilizando o programa statistica versão 13.2. Verificou-se a homogeneidade utilizando o teste de Levene, e o teste de kolmogorov e Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Mediante os resultados da normalidade dos dados, foram usados ANOVA e Tukey para dados paramétricos e Kruskal-Wallis e Fisher para dados não paramétricos. Para construção dos gráficos foi utilizado o software OriginPro versão 9.0.

## 5 – Resultados e Discussão

### 5.1 – Parâmetros Biométricos

Foi observado que em todos os tratamentos as sementes apontaram, ao passar do 1º dia da semeadura, e ao longo do desenvolvimento, de 7 dias, começaram a apresentar diferenças no crescimento do primeiro par de folhas, na parte aérea e na raiz (**Figura 22 e 23**).

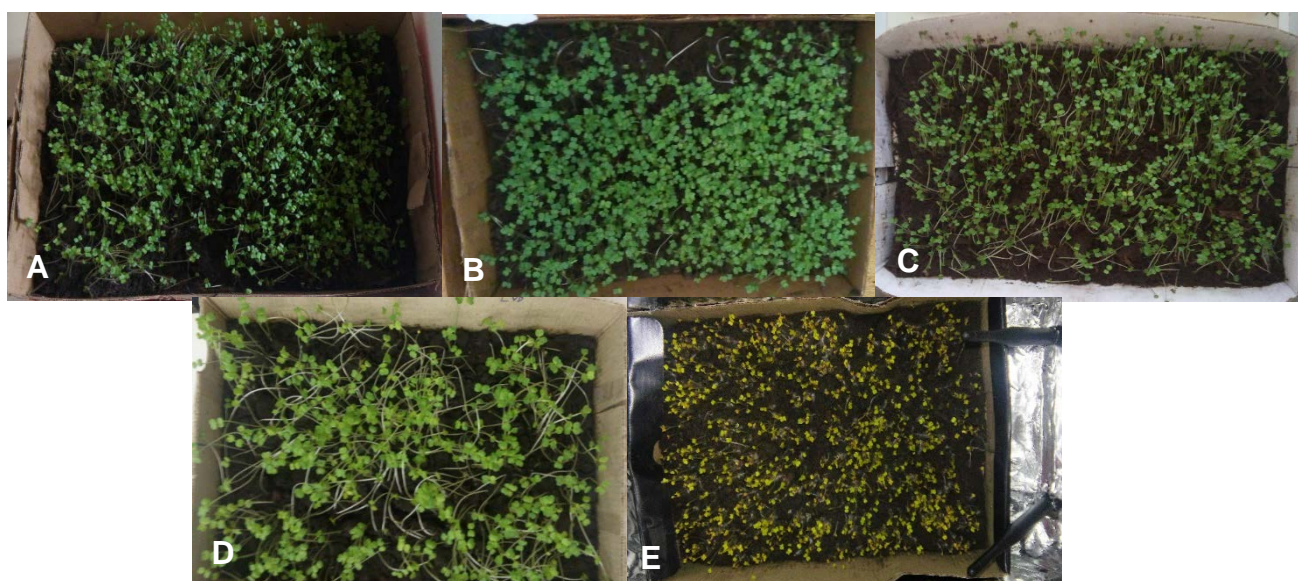


Figura 22 - Diferença durante o crescimento. A - LED Azul; B - LED Vermelho; C - Controle; D - LED Verde; E - Wi-Fi

Fonte: Autoria própria.



Figura 23 - Diferença de crescimento entre folha, caule e raiz. A - Wi-Fi; B - LED Vermelho; C - LED Azul; D - LED Verde; E - Controle.

Fonte: Autoria própria.

A média dos valores encontrados durante as medições podem ser observados na **(Tabela 6)**.

*Tabela 6 - Diferença apresentada em média (mm) do crescimento das folhas, dos caules e da raiz para cada grupo, sendo o D.P o desvio padrão dos dados.*

	Folha		Parte Aérea		Raiz	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
Controle	3,628	0,741	44,941	8,268	48,729	16,883
Wi-Fi	2,959	0,560	58,474	11,043	34,053	13,775
L. Vermelho	3,860	0,589	46,179	8,231	55,452	18,305
L. Verde	3,370	0,558	49,141	9,024	33,979	16,275
L. Azul	3,367	0,629	48,426	7,358	54,191	13,084

Ao verificar a média dos tamanhos das plantas de cada grupo, destaca-se o grupo Wi-Fi com 58,47 mm, o grupo LED verde com 49,14 mm, o grupo LED azul com 48,43 mm, o grupo LED vermelho 46,18 mm e o grupo controle com 44,94 mm, essas medidas foram realizadas com 7 dias de semeadura. De acordo com (PARK et al., 2012), um tratamento utilizando lâmpada fluorescente, LED rosa, LED amarelo e LED roxo, apresentaram um tamanho de planta de 200 mm, 210 mm, 257 mm e 268 mm respectivamente, esses dados foram analisados depois de 42 dias da semeadura. Fenômeno observado também por (HOGEWONING, 2010) no tratamento com luz azul através do aumento da biomassa em alface.

Segundo (NOVIČKOVAS, 2012), foi observado que a luz azul próxima do violeta resultava em um lento crescimento e desenvolvimento de pepinos, enquanto o azul próximo do verde resultava no aumento de folhas, e a luz verde resultava tanto no crescimento das folhas quanto na biomassa, sendo verificado o mesmo aumento no crescimento de folhas de alface por JOHKAN, 2012).

Através do método de Fisher, foi constatada diferenças significativas entre os grupos. O gráfico apresenta as diferenças entre as folhas dos grupos, nota-se que o grupo controle, Wi-Fi e LED vermelho se diferem de todos os outros grupos, já o grupo LED verde não se difere do LED azul **(Figura 22)**.

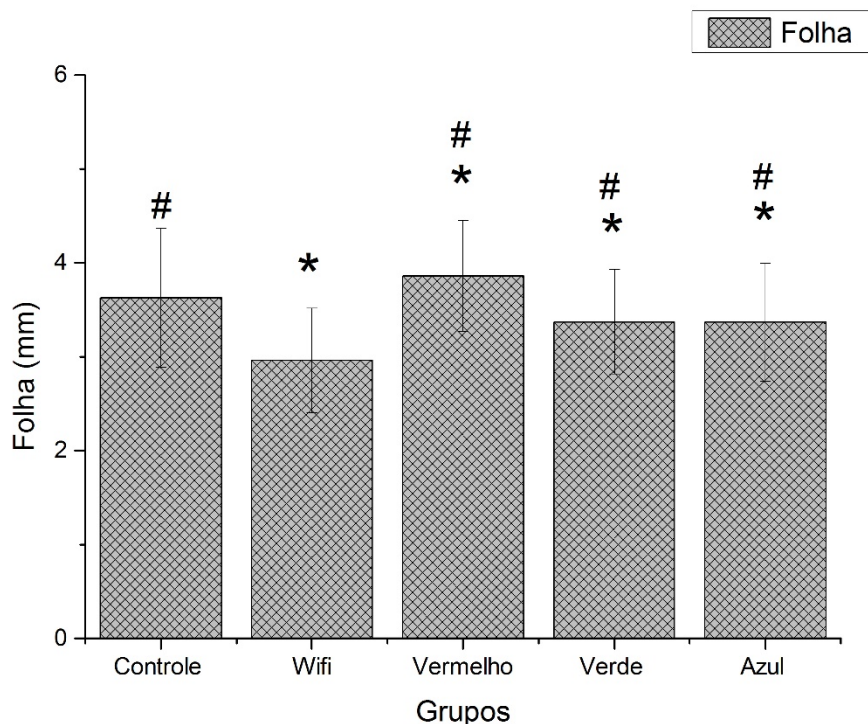


Figura 24 - Diferença no crescimento das folhas entre os grupos. (\*) (#) diferença entre os grupos com  $p < 0,05$ .

A análise descrita por (JOHKAN et al., 2010), demonstra que durante 17 dias o tratamento com luz vermelha resultou uma área foliar de alface maior que o tratamento com luz azul e lâmpada fluorescente, porém após 45 dias o tratamento com luz azul resultou em um aumento de 21% comparado com o tratamento com luz vermelha e lâmpada fluorescente.

O trabalho realizado por (BROWN et al., 1995), tratando amostras de pimenta (*Capsicum annum L.*) com lâmpadas de vapores metálicos, LED vermelho e lâmpadas fluorescente azuis, resultou em um maior crescimento na área total da folha quanto tratada com LED vermelho mais lâmpada fluorescente azul ( $778\text{cm}^2$ ), enquanto a lâmpada de vapor metálico ( $689\text{cm}^2$ ) e o LED vermelho ( $573\text{cm}^2$ ).

No trabalho de (PAULA et al., 2015) foi constatado que ao incorporar Flor-de-seda (*Calotropis procera*) ao solo com cinco concentrações diferentes (30, 40, 50, 60 e  $70\text{ t ha}^{-1}$ ) foi observado um aumento na altura da rúcula de 17, 19, 21, 23, 24 cm respectivamente no final de 29 dias, correlacionando este estudo com crescimento da parte aérea da rúcula utilizando LED vermelho, nota-se um tamanho final no término de 7 dias de 4,6 cm (**Figura 23**).

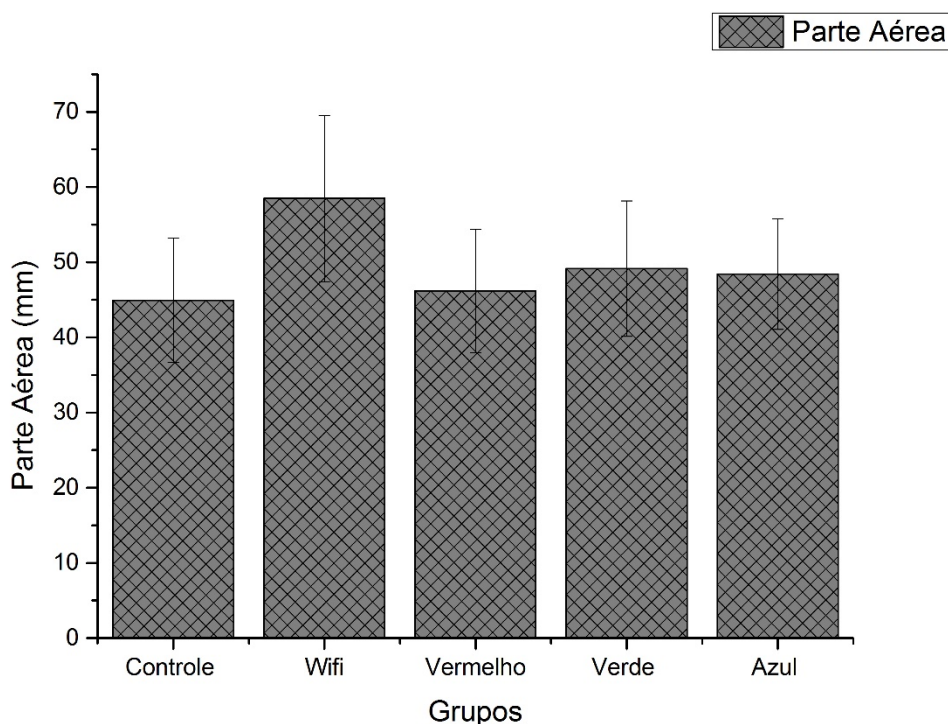


Figura 25 - Diferença entre os grupos no crescimento da parte aérea, existindo diferenças significativas com  $p < 0,05$ .

Analisando o tratamento com LED verde verificou-se um crescimento da parte aérea de 4,91 cm, também em um período de 7 dias e mantendo a condição de tratamento de 8 horas LED verde, 8 horas claridade solar e 8 horas noturno, e segundo (FONSECA, 2013), realizando tratamentos com 0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, obteve como resposta na altura da rúcula 24, 63, 23, 00, 24,13, 23, 38, 23, 88 cm resultando numa média de 23,80 com 29 dias de plantio.

No trabalho apresentado por (KLAUCK et al., 2015), a rúcula foi exposta a um tratamento com lixiviado tóxico (chorume) de um aterro sanitário e foi encontrado para o crescimento da raiz no grupo controle 17,3 mm e para o grupo tratado com o lixiviado de 8,5 mm, após o término de 5 dias. Neste trabalho encontramos valores maiores para todos os grupos, com valores de 33,9 até 55,4 mm, tratados com LED verde e Wi-Fi respectivamente (**Figura 24**).

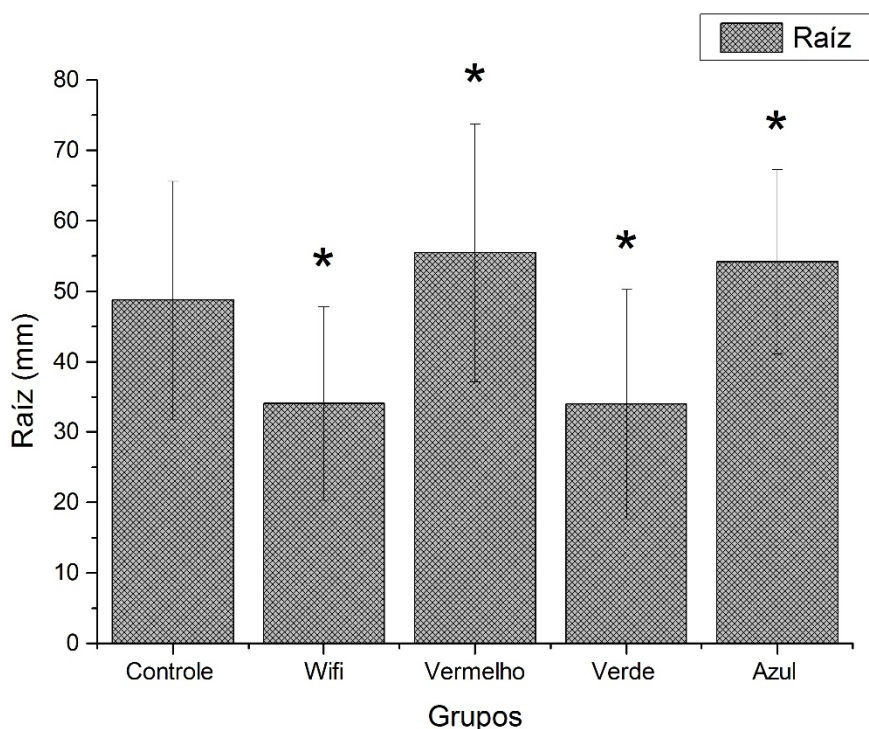


Figura 26 - Diferenças entre os grupos para a raiz. (\*) Grupos diferentes do controle.

## 5.2 – Massa Úmida e Seca

Após a lavagem para retirada de resíduos do substrato, as amostras de rúcula de cada tratamento secaram em temperatura ambiente para serem pesadas em uma balança de precisão e acondicionadas em uma estufa para secagem, resultando nos dados de massa e porcentagem de umidade perdida.

Tabela 7 - Valores de massa úmida (MU), massa seca (MS) em gramas e porcentagem de umidade.

	M.U. (G)	M.S. (G)	%UMIDADE
<b>CONTROLE</b>	24,24	1,49	<b>93,85</b>
<b>WI-FI</b>	31,57	1,69	<b>94,65</b>
<b>VERMELHO</b>	41,1	1,84	<b>95,52</b>
<b>VERDE</b>	35,18	1,87	<b>94,68</b>
<b>AZUL</b>	25,7	1,29	<b>94,98</b>

Conforme (PARK et al., 2012), o tratamento com luz fluorescente, LED rosa, LED amarelo e LED roxo resultaram em massa úmida 17, 22, 30 e 31 gramas respectivamente depois de 42 dias, não ocorrendo concordância entre

os dados apresentados e os dados da **(Tabela 7)** que foram obtidos após 7 dias.

### 5.3 – pH

Foi identificado similaridade entre os valores encontrados de pH apresentados na **(Figura 25)**, e nos valores de pH no trabalho de (NUNES, 2011) que avaliou o tempo de vida e a qualidade da rúcula cultivada no sistema orgânico, armazenada sob refrigeração. Um dos motivos que pode ocasionar essa oscilação que também ocorreu no trabalho de (SIGRIST, 2002), é a variação dos valores de ácidos orgânicos encontrados nos vegetais que podem estar na forma livre ou esterificada.

De acordo com o trabalho de (CAMPOS et al., 2013), os valores de pH ficaram um pouco mais ácidos em torno de 4,6 e 4,8 para cultivo tradicional e orgânico respectivamente, ocorrendo essa medição no momento da aquisição da rúcula, outra análise ocorreu após 36 horas de armazenamento em geladeira doméstica resultando no pH com valores de 4,49 e 4,69 para cultivo tradicional e orgânico respectivamente.

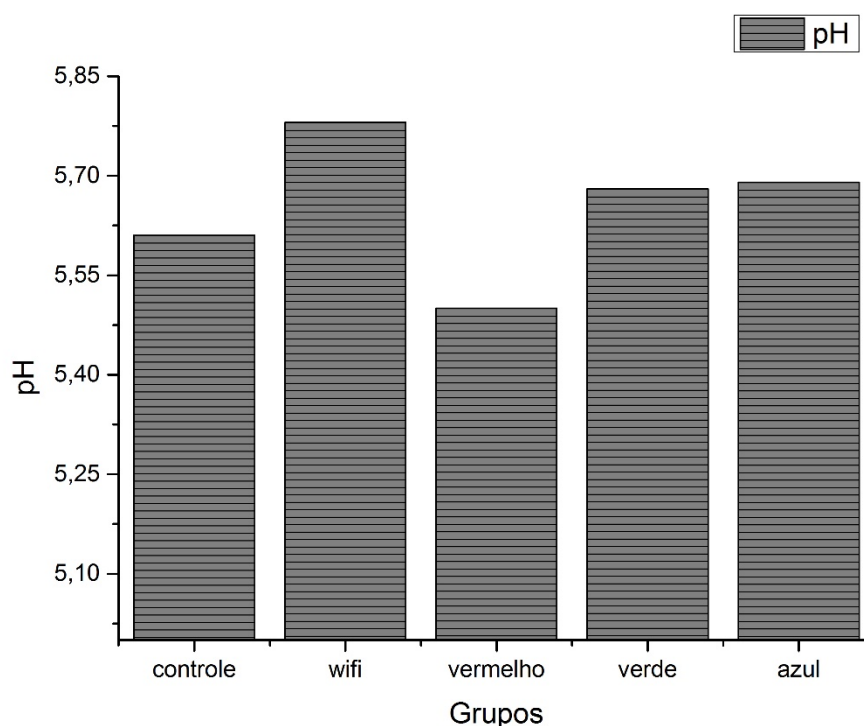


Figura 27 - Valores de pH das amostras de rúcula de cada grupo.

Outros valores foram encontrados no trabalho de (LIMA et al., 2011) que realizou um comparativo no sistema de cultivo entre convencional e *Baby Leaf* (colheita antecipada), sendo 5,58 e 6,298 de pH respectivamente, tendo o sistema de cultivo convencional colhido com 27 dias e o *Baby Leaf* com 21 dias.

#### 5.4 – Sólidos Solúveis Totais (SST)

O trabalho de (FABRI et al., 2004) objetivou-se determinar os teores de sólidos solúveis totais em rúculas de algumas marcas, incluindo a rúcula "Cultivada - Gigante Folha Larga" da empresa Isla, ao 32º dia foi encontrado como valor 3,60 °Brix, o que corrobora os valores encontrados neste trabalho no 7º dia tendo para os tratamentos controle 1,34, Wi-Fi 1,337, LED vermelho 1,335, LED verde 1,335 e LED azul 1,334 °Brix (**Figura 26**), já que de acordo com (FERNANDES, 2011) os valores de Brix tendem a aumentar ao longo dos dias, representando os ácidos, os sais, as vitaminas, os aminoácidos, algumas pectinas e os açúcares, comumente chamado de índice dos açúcares totais.

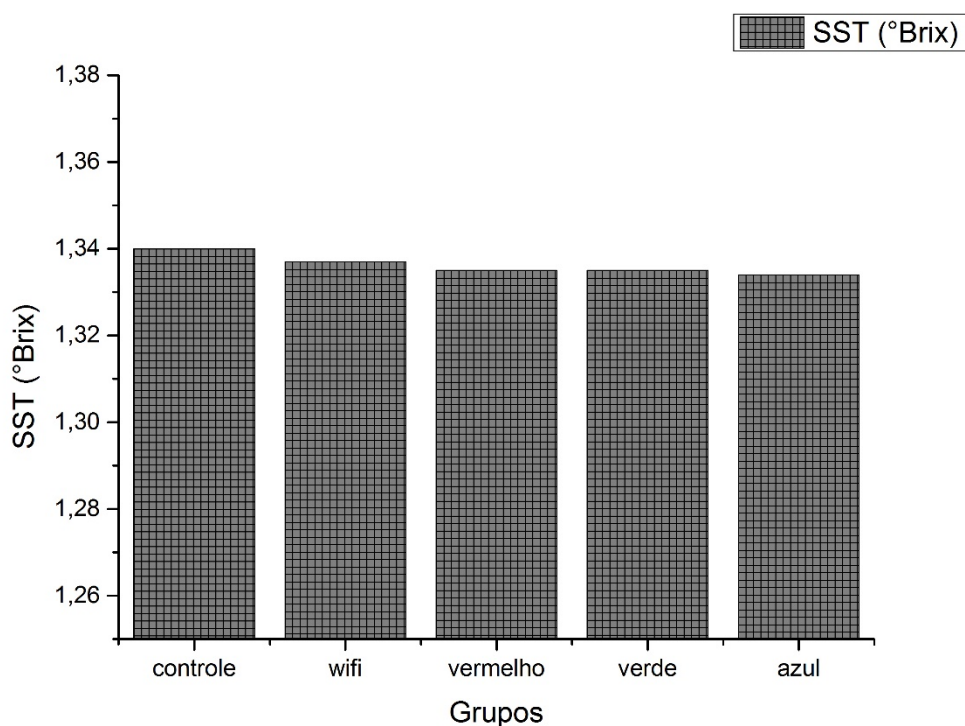


Figura 28 - Valores de Sólidos Solúveis Totais em Brix.

Valores não apresentaram diferença significativa entre os grupos.

Os valores encontrados por (PEREIRA et al., 2015) de 2,4 °Brix em plantaçoã orgânica sem utilização de insumos agroquímicos, apenas adubo de esterco bovino, mostrou-se abaixo deste trabalho e outros como (NUNES, 2011).

## 5.5. – Clorofila a, b e Carotenoides

Um dos problemas encontrados durante a discussão foi o número de metodologias encontradas para se extrair a clorofila e carotenóides, são concentrações diferentes de solventes, o número de equações existentes para determinar a clorofila a, b, total e os carotenóides resultando em unidades diferentes (WELLBURN, 1976).

A realização das análises das clorofilas a, b e carotenóides apresentaram, (**Tabela 8**), normalidade pela ANOVA, através do método de Shapiro-Wilk, e diferenças significativa em alguns grupos.

Tabela 8 - Valores de clorofila a, clorofila b e carotenoides por cada grupo.

	Chl a	CV(%)	Chl b	CV(%)	Chl Total	CV(%)	Carotenoide	CV(%)
L. Azul	1,677	0,125	3,627	0,346	5,304	0,258	2,058	0,101
L. Vermelho	2,104	0,374	3,612	0,394	5,716	0,389	1,721	0,194
L. Verde	1,790	0,208	2,577	0,266	4,367	0,250	1,887	0,240
Controle	2,313	0,255	3,694	0,245	6,008	0,247	1,941	0,145
Wi-Fi	2,817	0,154	4,515	0,186	7,332	0,176	2,010	0,236

Sendo CV(%) o coeficiente de variação.

Na (**Figura 27**) observamos diferenças entre os grupos e um valor maior para clorofila b, o que pode ser explicado pelo fato das amostras não serem tratadas com luz solar direta e sim com claridade solar, o que faz com que a clorofila b seja maior já que ela aumenta os comprimentos de onda que podem ser capturados pela planta.

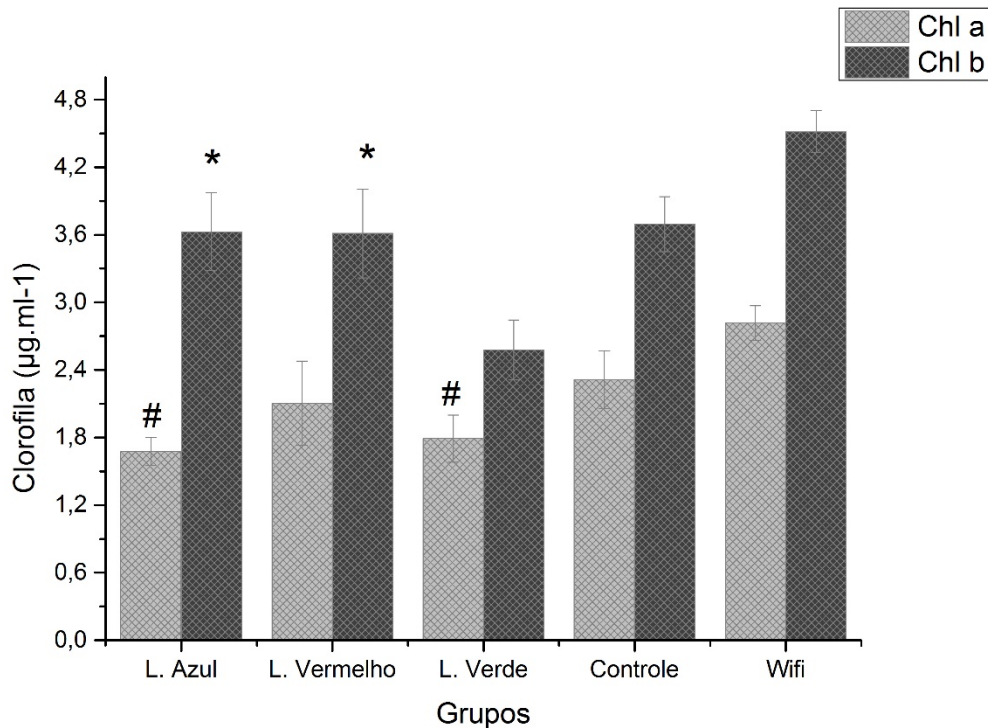


Figura 29- Valores de clorofila a e clorofila b. Os símbolos e linhas indicam as médias  $\pm$  desvio padrão das médias da clorofila ( $\mu\text{g.ml}^{-1}$ ) \* indica diferença significativa em relação a todos os grupos e entre si ( $p < 0,05$ )

Nos resultados encontrados no trabalho de (FERNANDES, 2011), verificamos valores maiores para clorofila a de  $7,71 - 4,2 \mu\text{g.ml}^{-1}$  e valores menores para clorofila b de  $1,75 - 2,48 \mu\text{g.ml}^{-1}$ , 38 dias após a semeadura em uma horta hidropônica.

Valores bem mais abaixo foram encontrados no trabalho de (JESUS, 2011), que pode ser explicado pelo tratamento com concentrações diferentes de salinidade e pelo uso de uma equação diferente, equação de (ARNON, 1949) para determinar os valores de clorofila a e b.

Em um estudo onde rúculas jovens e adultas foram tratadas com diferentes concentrações da toxina microcistina que é produzida por cianobactérias. No trabalho, apresentado por (SILVA, 2011), não resultou em diferenças estatísticas entre os grupos que apresentaram valores acima de  $400 \mu\text{g.g}^{-1}$ .

A análise dos carotenoides estatisticamente não apresentou diferença significativa entre os grupos (**Figura 28**).

Os baixos valores e a não diferença significativa entre os grupos pode ser explicado pelo tempo de maturação, pois em verduras folhosas durante a

germinação, no caso da rúcula de 7° ao 9° dia, a taxa de carotenoides não apresenta mudanças significativas, o que muda conforme o amadurecimento aumentando a quantidade (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008).

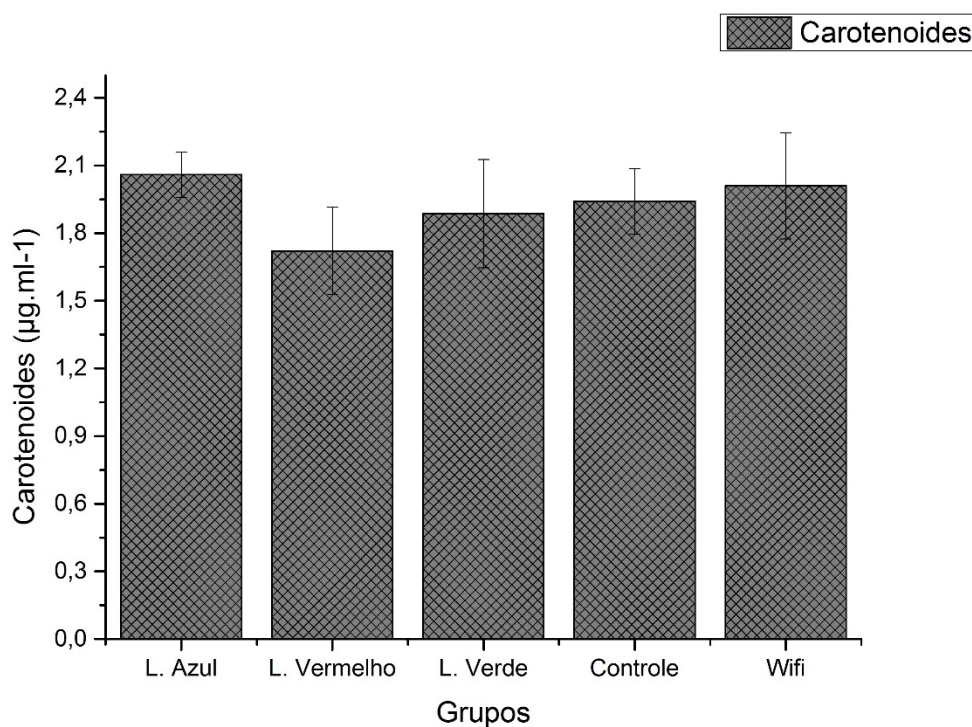


Figura 30 - Valores dos carotenoides. Não apresentou diferença significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ).

Neste estudo após a semeadura das rúculas, iniciou-se fertilização com 25ml.l-1 de um fertilizante contendo (0,75g N, 0,55g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 1,45g de K<sub>2</sub>O/l) e a colheita foi realizada quando a rúcula atingiu sua maturidade comercial de 40 dias, resultando em um número total de carotenoides de 8,24 mg/100g (ZNIDARCIC et al., 2011).

## 5.6 – Análises de minerais

Os resultados obtidos com as análises dos nutrientes mostram diferenças significativas entre os grupos (**Tabela 9**), podendo ser melhor observados nos gráficos nas (**Figuras 29 e 30**).

Tabela 9 - Quantificação dos macronutrientes (Ca, Mg, K e Na) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu). CV(%) o coeficiente de variação.

	LED Azul		LED Verde		LED Vermelho		Wi Fi		Controle	
	Média	C.V(%)	Média	C.V(%)	Média	C.V(%)	Média	C.V(%)	Média	C.V(%)
Ca	11299,72	0,039	507,02	0,125	591,11	0,055	520,93	0,048	659,87	0,109
Cu	5,35	0,062	6,46	0,281	7,89	0,109	9,52	0,056	10,79	0,113
Fe	3318,61	0,167	3678,78	0,102	6513,24	0,087	4448,72	0,072	2922,35	0,036
K	2189,47	0,143	3079,86	0,121	4134,60	0,022	4665,57	0,151	5271,08	0,075
Mg	253,11	0,050	226,18	0,061	409,45	0,047	463,53	0,051	466,46	0,056
Mn	89,03	0,045	59,47	0,132	88,35	0,093	65,58	0,067	52,61	0,082
Na	2481,57	0,049	2827,66	0,066	2505,55	0,059	2727,55	0,020	2298,53	0,061
Zn	53,33	0,047	44,89	0,098	44,58	0,078	42,88	0,064	50,95	0,066

A (Tabela 10) mostra um comparativo dos macronutrientes (Ca, Mg, K e Na) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) encontrados em mg.k<sup>-1</sup>, com a Ingestão Diária Recomendada (IDR) pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), para um ser humano adulto (ANVISA, 2006).

Podemos observar que para o Cálcio o LED azul passou o valor recomendado em 11 vezes, sendo que os outros tratamentos permaneceram aproximadamente metade do valor recomendado, o potássio se aproximou do valor recomendado no tratamento com LED verde e azul, o magnésio obteve um valor similar a IDR nos mesmo tratamentos e o sódio manteve-se na mesma média que a nova recomendação que é de 2000 mg/dia. Os demais nutrientes tiveram um valor muito acima do recomendado.

Tabela 10 - Comparação entre valores encontrados e (IDR) Ingestão Diária Recomendada segundo ANVISA.

Minerais	Controle	Wi-Fi	LED Azul	LED Verde	LED Vermelho	IDR
	Valores em mg/kg					mg/d
Ca	659,87	520,93	11299,72	507,02	591,11	1000
Cu	10,79	9,52	5,35	6,46	7,89	0,9
Fe	2922,35	4448,72	3318,61	3678,78	6513,24	14
K	5271,08	4665,57	2189,47	3079,86	4134,60	3500
Mg	466,46	463,53	253,11	226,18	409,45	260
Mn	52,61	65,58	89,03	59,47	88,35	2,3
Na	2298,53	2727,55	2481,57	2827,66	2505,55	2000
Zn	50,95	42,88	53,33	44,89	44,58	7

O trabalho de (FILHA et al., 2015), analisou alguns nutrientes da rúcula, apresentando os valores dos micronutrientes Fe (1,95x10<sup>2</sup> mg.Kg<sup>-1</sup>) e

Mn ( $26,2 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), resultados abaixo dos encontrados neste trabalho. Os macronutrientes obtiveram valores acima como Mg ( $4,6 \times 10^3 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) em torno de dez vezes mais que o obtido com os tratamentos deste trabalho, o Ca ( $1,24 \times 10^4 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) com valor aproximado do tratamento de LED azul, e valores abaixo como K ( $2,29 \times 10^4 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) e o Na ( $8,9 \times 10^2 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ), os valores podem ser observados através dos gráficos nas **(Figuras 28 e 29)**.

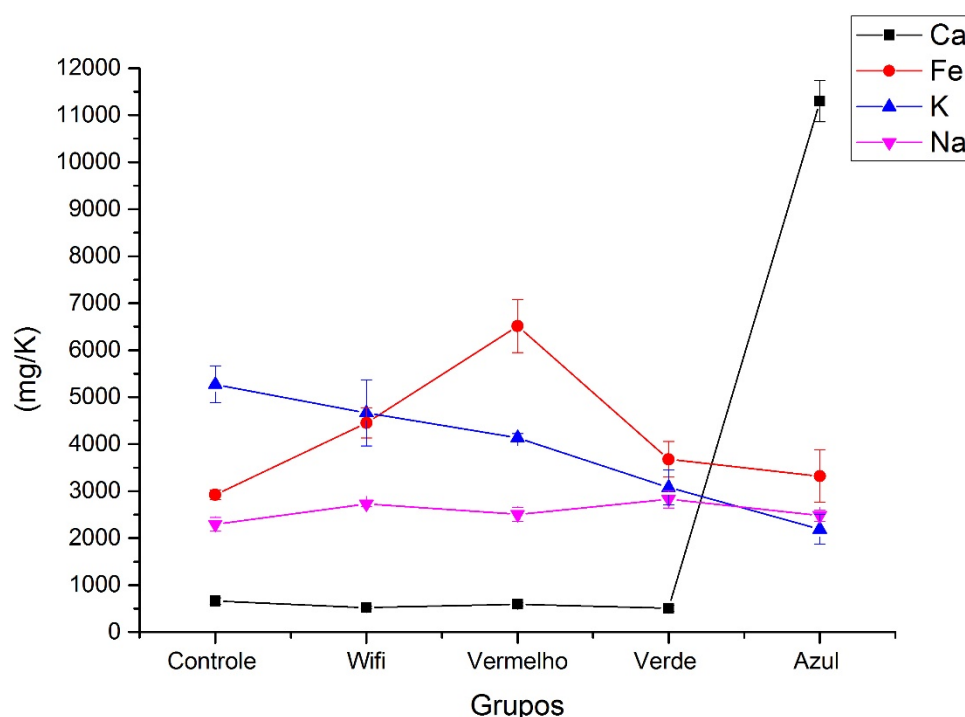


Figura 31 - Valores dos minerais (Ca, Fe, K, Na).

Em outro trabalho, (LIMA et al., 2011) verificou os minerais de rúcula tratada no sistema convencional (colhidas com 37 dias) e no *Baby Leaf* (colhidas com 21 dias), foi obtido valores para K (940 g/100-1g), Ca (170 g/100-1g), Mg (90 g/100-1g), Cu (1 g/100-1g), Fe (50 g/100-1g), Mn (1 g/100-1g) e Zn (8 g/100-1g), valores acima dos encontrado neste trabalho para K, Zn e Mg e valores abaixo para Fe, Mn, Ca (comparado com o tratamento no LED azul) e encontrado aproximadamente o mesmo valor para Cu (no tratamento controle).

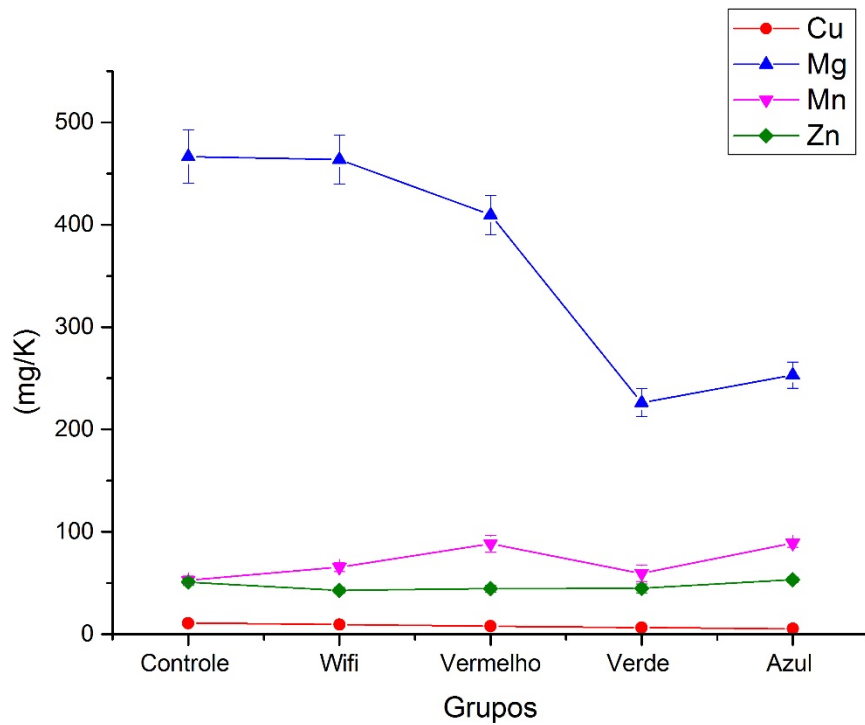


Figura 32 - Valores encontrados para os minerais Cu, Mg, Mn, Zn.

## 5.7 – Dispositivo para Detecção das Cores

Com a montagem do sensor TCS3200 no Arduino e a programação, o dispositivo foi capaz de detectar a intensidade luminosa e traduzir os dados para as cores Azul, Verde ou Vermelho (**Figura 31**).

```

Sensor_cores [Arduino 1.6.12]
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Sensor_cores
int i = 0;

void setup()
{
  pinMode(a0, OUTPUT);
  pinMode(s1, OUTPUT);
  pinMode(s2, OUTPUT);
  pinMode(s3, OUTPUT);
  pinMode(out, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  // pinMode(pinoledverm, OUTPUT);
  // pinMode(pinoledverd, OUTPUT);
  // pinMode(pinoledazul, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(s0, HIGH);
  digitalWrite(s1, LOW);
  digitalWrite(led, LOW);
}

Carregado
O sketch usa 3.068 bytes (9%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são
Variáveis globais usam 248 bytes (12%) de memória dinâmica, deixando 1.800 bytes para
76
COM6 (Arduino/Genuino Uno)
Enviar
Vermelho :10468 Verde : 908 Azul : 227
Azul
Vermelho :11601 Verde : 1163 Azul : 228
Azul
Vermelho :11848 Verde : 908 Azul : 228
Azul
Vermelho :442 Verde : 7629 Azul : 3861
Vermelho
Vermelho :443 Verde : 7646 Azul : 3869
Vermelho
Vermelho :443 Verde : 7636 Azul : 3854
Vermelho
Vermelho :4239 Verde : 822 Azul : 1027
Verde
Vermelho :4217 Verde : 820 Azul : 1024
Verde
Vermelho :4211 Verde : 555 Azul : 1024
Verde
Vermelho :4211 Verde : 556 Azul : 1278
Verde
  
```

Figura 33 - Ambiente de programação do Arduino e valores de intensidade luminosa e a cor correspondente.

A escolha das cores azul, verde e vermelho foram baseadas em alguns trabalhos recentes (SINGH, 2015; OLIVEIRA & BASTOS, 2013; LIN, 2013, dentre outros). O dispositivo tem a capacidade de captar a mistura de qualquer cor dentro do código RGB (*Red, Green e Blue*), alterando apenas sua programação, o que permite ser usado em outros trabalhos e estudos por exemplo no trabalho de Park e colaboradores (PARK, 2012), que utilizou as cores rosa, amarelo e roxo para verificar o efeito sobre a rúcula e outras hortaliças.

## 5.8 – LED Vermelho

Mediante os resultados obtidos neste trabalho, verificamos a eficiência do LED vermelho na germinação da rúcula e valores consideráveis para a clorofila. Desta forma, podemos acreditar que o LED vermelho possa substituir a luz solar de forma eficiente. Nosso resultado está de acordo com o trabalho publicado recentemente na revista *Nature* (ROMERO, 2014) onde os autores estudaram o fenômeno de coerência quântica de foto-sistemas visando o desenvolvimento de novas tecnologias energéticas. Eles conseguiram estabelecer quais são as condições que proporcionam a excitação vibratória (i.e., por ondas) adequada para a conversão otimizada de energia solar, de maneira semelhante ao que nós estabelecemos para a radiação vermelha.

## 6 – Conclusões

Concluimos através dos resultados apresentados que a luz do LED vermelho foi responsável por importantes melhorias nas características da rúcula, tais como os parâmetros biométricos (maior folha e maior raiz) que são de fundamental importância na produção da rúcula pois o tamanho da raiz durante a germinação implica na capacidade de obtenção de minerais do substrato, ocorrendo um melhor desenvolvimento da planta. O tratamento com o LED vermelho apresentou um maior crescimento comparado aos outros tendo resultado na obtenção de massa fresca superior em até 40% quando

comparado ao uso de outras condições de crescimento. Também, o uso de LED vermelho permitiu obter melhores resultados para os conteúdos de Ferro, e apresentou resultados significativos para Manganês, Potássio, Magnésio e Cálcio. Todos os macros e micronutrientes obtidos apresentam valores acima do indicado pela ANVISA como Ingestão Diária Recomendada (IDR). Estes resultados tornam viável a extensão deste estudo para outras culturas de consumo elevado e com alto significado econômico e social para o Brasil, tais como alface, espinafre e tomate. Associando nossos resultados com aqueles publicados na revista *Nature* por Romero e colaboradores (ROMERO, 2014) concluímos que o LED vermelho possa ser usado como única fonte de luz de forma eficiente em substituição da luz solar.

É fundamental conhecer não apenas a cor (frequência da radiação eletromagnética) correta para promover características positivas a determinada planta, mas também a tonalidade da cor. Entretanto, não foi identificado atualmente no mercado um dispositivo de baixo custo que consiga analisar a mistura e tonalidade das cores, auxiliando de forma imprescindível novos olericultores que poderiam usar a radiação eletromagnética adequada para a produção otimizada de suas culturas. Dessa maneira, o dispositivo aqui desenvolvido já se encontra em processo de proteção intelectual junto ao INPI (*Instituto Nacional de Propriedade Industrial*) através da Agência de Inovação da UFSCar.

## 8 - Referências Bibliográficas

ALECRIM, E. O que é Wi-Fi (IEEE 802.11)? Disponível em: <<https://www.infowester.com/wifi.php#historia>>. .

BENEVIDES, A. B. Y., BORTOLOSSO, C., M. B. O. **Diodos Emissores De Luz (LEDs)**, 2010. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul - Escola De Engenharia.

ANVISA, A. N. DE V. S. O “Regulamento Técnico Sobre A Ingestão Diária Recomendada (Idr) De Proteína, Vitaminas E Minerais”. , 2006.

AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: edited Ig W. Horwitz 16.ed. Washington, 850p, 1997.

AMAYA, D. R., BOBBIO, F. O., BOBBIO, P. A. Curso sobre pigmentos naturais. Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP, 56 p, 1982.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, v.24, n.1, p.1-15, 1949.

BEVILACQUA, H. E. C. R. I. Classificação Das Hortaliças. , 2013.

BORGES, P. D. Apostila de Física. , 2009.

BROWN, C. S.; SCHUERGER, A C.; SAGER, J. C. Growth And Photomorphogenesis Of Pepper Plants Under Red Light-Emitting Diodes With Supplemental Blue Or Far-Red Lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science. American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 5, p. 808–813, 1995.

CAMPOS, B.; OLIVEIRA, V. S.; OSHIRO, A. M. Avaliação Química De Rúcula De Diferentes Procedências Assessment Of Chemical Rocket From Different Sources Campos, 2013.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina De Física Moderna Que Vise A Sua Inserção No Ensino Médio. n. 185, p. 298–316, 2001.

Chen, P. Chlorophyll And Other Photosentives. In: LED Grow Lights, Absorption Spectrum For Plant Photosensitive Pigments, (<<http://www.LEDgrowlightshq.co.uk/chlorophyll-plant-pigments/>>); 2014.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-Colheita De Frutos E Hortaliças: Fisiologia E Manuseio. Lavras: ESAL-FAEPE, 320 p. 1990.

DORE, S. A. Radiação Ionizante O Que É Radiação ? , p. 1–25, 2004.

FABRI, E. G. .; SALA, F. C. .; FABRÍCIO, F.; et al. Avaliação da Qualidade Variedades de Rúcula. , 2004.

FARKAS, D.; HOOVER, D. High Pressure Processing. Kinetics Of Microbial Inactivation For Alternative Food Processing Technologies. **Journal of Food Science Supplement**, p. 47-64, 2000.

FERNANDES, A. A. Influência De Embalagens Na Fisiologia Pós- Colheita De Rúcula (Eruca Sativa Miller Var. Folha Larga) Hidropônica. , 2011.

FILHA, M. M. S.; MATOS, R. P.; SILVA, S. S. Macro And Micronutrients In Determining Samples Marketed Vegetables And Breads In Jequié , BA. , v. 6, p. 68–76, 2015.

FONSECA, J. O. G. DA. Desempenho Agronômico de Alface e Rúcula em Função de Doses de Composto Fermentado em Condições de Cultivo Protegido, sob Manejo Orgânico Orgânico em Nova Friburgo, RJ. , 2013.

GIORI, F. P. Adaptação De Metodologia De Digestão In Vitro E Determinação Da Bioacessibilidade In Vitro De  $\beta$ - Caroteno Em Três Variedades De Batata-Doce De Polpa Alaranjada., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 66p, 2010.

GROSS, J. *Pigments In Vegetables: Chlorophylls And Carotenoids*. New York: Avi, Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1991.

Hiscox JD, Israelstam, GF. A Method For The Extraction Of Chlorophyll From Leaf Tissue Without Maceration. *canadian journal of botany* 57: 1332-1334, 1979.

Hogewoning, S.W., G. Trouwborst, H. Maljaars, H. Poorter, W. van-leperen, and J. Harbinson. Blue Light Dose–Responses Of Leaf Photosynthesis, Morphology, And Chemical Composition Of *Cucumis Sativus* Grown Under Different Combinations Of Red And Blue Light. *J. Expt. Bot.* 6:3107–3117, 2010.

HORA, R. C.; GOTO, R.; BRANDÃO FILHO, J. U. T. O Lugar Especial Da Produção De Hortaliças No Agronegócio. In: *AGRIANUAL 2004: anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP/M&S, p. 322-323, 2004.

ILUMINACIÓN INDUSTRIAL, C. POR QUÉ LED. Disponível em: <<http://www.cesiluminacionLED.es/porque-LED>>. .

INDUSTRIAL, C. I. Por que LED. Disponível em: <<http://www.cesiluminacionLED.es/porque-LED>>. Acesso em: 31/10/2016.

JESUS, C. G. DE. Estresse Salino em Rúcula (*Eruca sativa* Mill.) Hidropônica: Aspectos Fisiológicos, Bioquímicos e Nutricionais. , 2011.

Johkan M, ShojiK, Goto F, Hahida S, Yoshihara T. Effect Of Green Light Wavelength And Intensity On Photomorphogenesis And Photosynthesis In *Lactuca sativa*. *Environ Exp Bot*; 75:128–33, 2012.

JOHKAN, M.; SHOJI, K.; GOTO, F.; HASHIDA, S. NOSUKE; YOSHIHARA, T. Blue Light-Emitting Diode Light Irradiation Of Seedlings Improves Seedling Quality And Growth After Transplanting In Red Leaf Lettuce. **HortScience**, v. 45, n. 12, p. 1809–1814, 2010.

JUSTEN, A. Curso de Arduino. , 2015.

KLAUCK, C.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. Evaluation Of Phytotoxicity Of

Municipal Landfill Leachate Before And After Biological Treatment. , v. 75, n. 2, 2015.

KLUGE, R.A. LCB - 311, Fisiologia Vegetal: Apontamentos De Aulas Teóricas De Fotossíntese. ESALQ/USP. Capturado em 22 mar. 2004. Online. Disponível em Internet [http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/gradOI/06\\_fotoquímica\\_da\\_fotossíntese/fotossínteseKluge](http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/gradOI/06_fotoquímica_da_fotossíntese/fotossínteseKluge)

LEHNINGER, A. L. Bioquímica: Biossíntese E A Utilização Da Energia Das Ligações De Fosfato. Ed. Edgard Blucher Ltda., v. 3., p. 439-596, 1976.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls And Carotenoids: Pigments Of Photosynthetic Biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (Ed.). **Methods in enzymology**. London: Academic Press, v.148, p.350-381, 1987.

LIMA, R. DE; NUNES, M. D. P.; AMÁLIA, M. Physico-Chemical Characteristics Of Arugula Cv . “ Cultivada ” Produced In The Conventional System And Baby Leaf. p. 7–14, 2011.

LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; et al. The Effects Of Red, Blue, And White Light-Emitting Diodes On The Growth, Development, And Edible Quality Of Hydroponically Grown Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 86–91, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>>. .

MAGNO;, R.; RECHARTE;, D.; GONÇALVES;, D.; FERRÃO, D. Como Evoluíram As Normas Wi-Fi IEEE 802.11? , p. 1–24, 2013.

MAIA, G. M. F. Acionamento Remoto de Portões Elétricos Via Celular Através de Microcontrolador, 2012. Centro Universitário de Brasília.

MARTELETO, D. C. Avaliação do Diodo Emissor de Luz (LED) para Iluminação de Interiores. , 2011.

MARTINS, J. Aumento de Produção com Tecnologia LED. , p. 2014, 2014.

MATHIAS, J. Como Plantar Rúcula. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1698654-4529,00.html>>. .

MCROBERTS, M. Arduino Básico. Novatec Editora Ltda., 2011.

MELO, J. L. G. G. DE. MINI CURSO ARDUINO, 2012. Universidade Federal do Paraná.

MENEZES, M.; FILHA, S.; MATOS, R. P.; et al. Determinação Dos Elementos Traços Cd , Pb , Cu , Zn , Cr , Ni E Al Em Amostras De Pães E Vegetais Comercializadas Na Cidade De Jequié , Ba Introdução, 2012.

MORALES, M.; JANICK, J. Arugula: a promising specialty leaf vegetable. Reprinted from: Trends in new crops and new uses. 2002. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-418.html>>. Acesso em: setembro de 2016.

Nishio JL. Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complemente Plant Cell Environ; 23:539–48, 2000.

Novičkovas A, Brazaitytė A, Duchovskis P, Jankauskienė J, Samuolienė G, Viršilė A, Sirtautas R, Bliznikas Z, Žukauskas A. Solid-state lamps (LEDs) for the short- wavelength supplementary lighting in greenhouses: experimental results with cucumber. Acta Hort; 927:723–30, 2012.

NUNES, C. J. D. S. Qualidade e Vida Útil da Rúcula O ARMAZENADA SOB REFRIGERAÇÃO. , 2011.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. , v. 27, n. 77, p. 185–

200, 2013.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física Das Radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OLIVEIRA, E. Q. D. E. ALFACE E RÚCULA. , 2008.

OLIVEIRA, R. P.; BASTOS, C. R. Diodos emissores de luz ( LEDs ) na micropropagação de amoreira-preta cv . Tupy. , , n. 55, p. 14–19, 2013.

PADUELI, M. P. AS Estações Rádio Base Na Cidade De São Paulo : Uma Abordagem Sobre Os Riscos E Uma Contribuição Para Os Sistemas De Gerenciamento. , 2012.

PARK, J.; LEE, S.; LEE, S. Y.; et al. Effects of different Light-Emitting Diodes ( LEDs ) Lights on the Growth Response of Leafy Vegetables in a Closed-Type Plant Factory System. , p. 1809, 2012.

PAULA, A.; NETO, F. B.; CÁSSIO, P.; LINHARES, A. Produção Agroeconômica Da Rúcula Fertilizada Com Diferentes Quantidades De Calotropis Procera. , p. 373–384, 2015.

PEREIRA, E. M.; MARIA, Y.; TOLENTINO, M.; FILHO, L.; FRAGOSO, S. P. Qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças cultivadas de forma orgânica Fruit post-harvest quality and vegetable cultivated organic way. , p. 56–60, 2015.

PIGNONE, D. Present status of rocket genetic resources and conservation activities. In, 1997.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. Mercado de Rúcula. , 2008. Disponível em: <<http://www.abhorticultura.com.br/Biblioteca/Default.asp?id=6658>>. .

RIBEIRO, E. P. & SERAVALLI, E. A. G.. Química de Alimentos. Instituto Mauá de Tecnologia. Editora Edgard Blücher Ltda, 1ª edição, São Paulo, p.155-157, 2004.

RODRIGUES, P.; NÉRIO, A. REDES SEM FIO. , 2010.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. .; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes Brasileiras De Carotenóides. 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA D.B.; KIMURA, M. Carotenóides E Valor De Vitamina A Em Cajá (*Spondias lutea*). Ciencia Tecnologia Alimentos, 9:148-162. 1989.

ROMANO, M.R. Análise De Crescimento, Produção De Biomassa, Fotossíntese, E Biossíntese De Aminoácidos Em Plantas Transgênicas De Tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) Que Expressam O Gene Lhcb1\*2 De Ervilha. 66f. 2001.

ROMERO, E., AUGULIS, R., NOVODEREZHKIN, I. V., FERRETTI, M., THIEME, J., ZIGMANTAS, D., GRONDELLE, V. R. Quantum Coherence In Photosynthesis For Efficient Solar-Energy Conversion. **Nature**. v.10.p.676-682, 2014.

SALA, F. C.; ROSSI, F.; FABRI, E. G.; RONDINO, E.; MINMI, K.; COSTA, C. P. Caracterização varietal de rúcula. *In: Anais do 44o Congresso Brasileiro de Olericultura*. Horticultura Brasileira, Campo Grande, v.22, n.2, jul. 2004.

SANTAMARIA, P.; ELIA, A.; PAPA, G.; SERIO, F. Nitrate And Ammonium Nutrition In Chicory And Rocket Salad Plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 9, p. 1779-1789, 1998.

SANTARÉM, E. W. P. Poluição Ambiental Dos Campos Eletromagnéticos De Estações De Rádio, Televisão E Estações De Radiobase Da Telefonia Celular Em Manaus, Am. , p. 60, 2012.

SCHOEFS B. Chlorophyll And Carotenoid Analysis In Food Products. Properties Of The Pigments And Methods Of Analysis. Trends in Food Science & Technology, v.13, p.361-371, 2002.

SCHWARTZ, S.J.; LORENZO, T.V. Chlorophyll In Foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, Fort Lauderdale, v.29, p.1-17, 1990.

SEEDNEWS, R. O Mercado de Sementes de Hortaliças na América do Sul. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/o-mercado-de-sementes-hortali%C3%A7as-na-am%C3%A9rica-do-sul-revista-seednews?articleId=8466110018865903644>>. .

SHARMA, V. P.; SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. Cell phone radiations affect early growth of *Vigna radiata* (mung bean) through biochemical alterations. **Zeitschrift fur Naturforschung**. Teil C: Biochemie, Biophysik, Biologie, Virologie, v. 65, n. 1-2, p. 66–72, 2010.

SIGRIST, J. M. M. Estudos Fisiológicos E Tecnológicos De Couve-Flor E Rúcula Minimamente Processadas. 2002. 125 f. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2002.

SILVA MAB. GEAGESP. Seção de Economia. Sao Paulo-SP. Comunicacao pessoal.2004.

Silva, J. L. S.; Melo, M. C.; Camilo, R. S.; Galindo, A. L; e Viana, E. C. 2014. Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35. XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA. 2014.

SILVA, C.; MARTINS, R. D. A. A TEORIA DAS CORES DE NEWTON: UM EXEMPLO DO USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA EM SALA DE AULA. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53–65, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v9n1/05.pdf>>. .

SILVA, Í. M. Efeitos Alelopáticos De Microcistinas Em Rúcula. , 2011.

SILVA, J. C. J. Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma

(ICPOES). , 2015.

SINGH, D.; BASU, C.; MEINHARDT-WOLLWEBER, M.; ROTH, B. LEDs For Energy Ef Fi Cient Greenhouse Lighting. , v. 49, p. 139–147, 2015.

SOUZA, F. Arduino UNO. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. .

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P. As Clorofilas. , p. 748–755, 2005.

TAIZ, L.; ZIEGLER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre : Artmed, p.693. (Trad. SANTARÉM E.R. et al.).2004.

TAOS. DataSheet - TCS3200 Programmable Color Light-To-Frequency Converter. , 2009.

TELECO. Estatísticas de Celulares no Brasil. 2016 .

TRANI PE; PASSOS FA. 1998. Rúcula (pinchão). *In*: FAHL JL; CAMARGO MBP; PIZINATTO MA; BETTI JA; MELO AMT; DEMARIA IC; FURLANI AMC (eds). 1998.

UENOJO, M.; ROBERTO, M.; JUNIOR, M.; PASTORE, M. Carotenóides: Propriedades, Aplicações E Biotransformação Para Formação De Compostos De Aroma. , v. 30, n. 3, p. 616–622, 2007.

VICTÓRIO, C. P.; MACHADO, R.; LUIZ, C.; LAGE, S. Qualidade de Luz e Produção de Pigmentos Fotossintéticos em Plantas In Vitro de *Phyllanthus tenellus* Roxb. , p. 213–215, 2007.

VILLELA, GILBERTO G.. Pigmentos Animais: Zoocromos. Editado pela Academia Brasileira de Ciências, p.5-31, 1976.

VON ELBE J.H. Colorantes. *In*: FENNEMA, O.W. Química de los alimentos. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin - Madison, Cap.10, p.782-799. 2000.

WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. , v. 11, n. 1955, p. 1–2, 1976.

WENDLING, P. M. Semicondutores. , p. 1–35, 2009.

YEH, N.; CHUNG, J. P. High-Brightness LEDs-Energy Efficient Lighting Sources And Their Potential In Indoor Plant Cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 2175–2180, 2009.

ZEINDIN, D. C. A. A Tecnologia do Futuro Wi-Fi (Wireless Fidelity). , 1999.

ZNIDARCIC;, D.; BAN, D.; ŠIRCELJ, H. Carotenoid And Chlorophyll Composition Of Commonly Consumed Leafy Vegetables In Mediterranean Countries ˇnidarc. , v. 129, p. 1164–1168, 2011.

## ANEXO A

Código para funcionamento do Relé através do Arduino, acionado por 8 horas e desligado por 16 horas.

```
int relay4 = 4;
int relay3 = 3;
int relay5 = 5;

void setup() {
  //Configurando o pino do rele
  pinMode(relay5, OUTPUT);
}

void loop() { //código de repetição

  digitalWrite(relay5,HIGH); //liga o rele
  delay(28800000); // relé acionado por 8 horas. Valor em milisegundos
  digitalWrite(relay5,LOW); //Desliga rele
  delay(57600000); //Permanece desligado por 16 horas. Valor em milisegundos
}
```

## ANEXO B

Código para controlar o sensor de cores TCS3200 através do Arduino.

```
/* Código do sensor de cores para projeto UFSCar */
//Pinos de conexão do módulo
const int s0 = 8;
const int s1 = 9;
const int s2 = 12;
const int s3 = 11;
const int out = 10;
const int LED = 7;

//Variáveis cores
int red = 0;
int green = 0;
int blue = 0;

//Variáveis de média
int mediaa = 0;
int mediav = 0;
int auxa = 0;
int auxv = 0;
int i = 0;

void setup()
{
  pinMode(s0, OUTPUT);
  pinMode(s1, OUTPUT);
  pinMode(s2, OUTPUT);
  pinMode(s3, OUTPUT);
  pinMode(out, INPUT);
  pinMode(LED, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(s0, HIGH);
  digitalWrite(s1, LOW);
  digitalWrite(LED, LOW);
}

void loop()
{
  //Detecta a cor
  color();
  //Mostra valores no serial monitor
  Serial.print("Vermelho :");
  Serial.print(red, DEC);
  Serial.print(" Verde : ");
  Serial.print(green, DEC);
  Serial.print(" Azul : ");
  Serial.print(blue, DEC);
}
```

```

Serial.println();

    auxv = red + auxv;
    auxa = blue + auxa;
    i = i + 1;

//Verifica se a cor vermelha foi detectada
if ((red < blue) && (red < green) && red < 800)
{
    Serial.println("Vermelho");
}

//Verifica se a cor azul foi detectada
else if ((blue < red) && (blue < green) && blue < 1200)
{
    Serial.println("Azul");
}

//Verifica se a cor verde foi detectada
else if (green < 1500)
{
    Serial.println("Verde");
}
Serial.println();

delay(5000);
}

void color()
{
    //Rotina que le o valor das cores
    digitalWrite(s2, LOW);
    digitalWrite(s3, LOW);
    //count OUT, pRed, RED
    red = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
    digitalWrite(s3, HIGH);
    //count OUT, pBLUE, BLUE
    blue = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
    digitalWrite(s2, HIGH);
    //count OUT, pGreen, GREEN
    green = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
}

```