

**TERMOGRAFIA E ESPECTROMETRIA NA FENOTIPAGEM DE
VARIEDADES LOCAIS DE FEIJOEIRO QUANTO A REAÇÃO AO
CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM**

KARINA KAZUE NAKAMURA FUKUJI

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO - 2020**

TERMOGRAFIA E ESPECTROMETRIA NA FENOTIPAGEM DE
VARIEDADES LOCAIS DE FEIJOEIRO QUANTO A REAÇÃO AO
CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM

KARINA KAZUE NAKAMURA FUKUJI

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientadora: Prof.^a Rosana Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO - 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

F961

Fukuji, Karina Kazue Nakamura.

Termografia e espectrometria na fenotipagem de variedades locais de feijoeiro quanto à reação ao crestamento bacteriano comum / Karina Kazue Nakamura Fukuji. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.

94 f. : il.

Bibliografia: 61 - 76.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2020.
Orientadora: Rosana Rodrigues.

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*. 3. fenotipagem de alta precisão. 4. imagens termais. 5. reflectância foliar. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

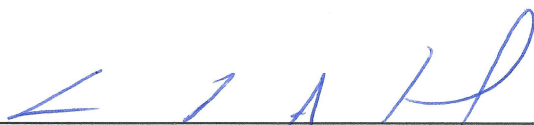
TERMOGRAFIA E ESPECTROMETRIA NA FENOTIPAGEM DE
VARIEDADES LOCAIS DE FEIJOEIRO QUANTO A REAÇÃO AO
CRESTAMENTO BACTERIANO COMUM

KARINA KAZUE NAKAMURA FUKUJI

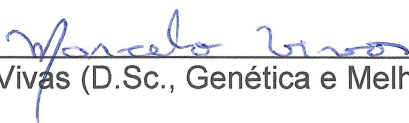
“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”

Aprovada em 14 de fevereiro de 2020.

Comissão Examinadora:



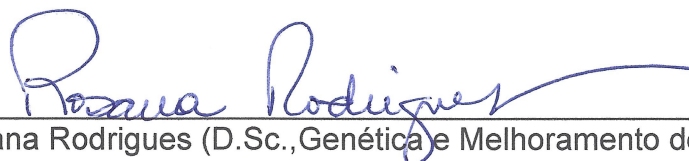
Prof. Leandro Simões Azeredo Gonçalves (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UEL



Prof. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF



Prof.ª Telma Nair Santana Pereira (Ph.D., Melhoramento de Plantas) - UENF



Prof.ª Rosana Rodrigues (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Anderson Yusei Suzuki Fukuji, dedico.

AGRADECIMENTOS

A UENF e ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001”.

A professora Rosana Rodrigues, pela maestria em sua orientação, por ter confiado a mim um trabalho de tamanha magnitude.

Ao professor Leandro Simões Azeredo Gonçalves, uma pessoa que mudou minha vida, que abriu meus olhos de um modo irreversível e transformou à minha maneira de ver o mundo.

A professora Telma Nair Santana Pereira, pessoa iluminada, sou muito grata pelos seus ensinamentos, apoio, dedicação, carinho e paciência.

Ao professor Messias Gonzaga Pereira, por compartilhar de sua sabedoria e apoio.

Ao professor Marcelo Vivas, pelas suas contribuições prestadas ao trabalho, apoio e dedicação.

A professora Maria Isabel Balbi Peña, uma pessoa incrível, pela qual tenho muito respeito, carinho e admiração, e fez com que eu me apaixonasse pela fitopatologia, e queira aprender ainda mais.

Ao secretario mais copetente e disciplinado que eu já conheci, José Daniel Valle de Almeida, sou grata por suas contribuições e dedicação.

A Cláudia Pombo Sudré, tenho que agradecer por você ter feito parte da minha vida, e tenha certeza de que tudo que você me ensinou levarei comigo com muito carinho.

Aos colegas de trabalho, os quais se tornaram minha família nesses últimos anos Elizangela, Thâmara, Rosimara, Cláudia Roberta, Claudia Lougon, Sabrina, Maria do Socorro, André, Fernando, Gaspar, Eduardo, Caio, Cleiton, Marlon, Osias e Márcio.

Obrigada, à minha família por ser sempre forte, por ter me dado estrutura para superar obstáculos difíceis, por me respeitar diante de minhas escolhas, e por não duvidar jamais que eu poderia ir ainda mais adiante.

Ao meu marido Anderson Yusei Suzuki Fukuji, a pessoa mais importante em minha vida, que sempre esteve ao meu lado, que jamais me negou apoio, carinho e encorajamentos. Agradeço muito ao amor da minha vida, grande incentivador que se desdobrou em esforços para me ajudar durante a construção desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivo Específicos.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Origem e domesticação do feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	5
3.2 Aspectos botânicos e morfológicos do feijoeiro	6
3.3 Importância econômica e nutricional.....	8
3.4 Principais doenças do feijoeiro comum	9
3.5 Crestamento bacteriano comum (CBC)	10
3.5.1. Etiologia do CBC.....	11
3.5.2. Sintomatologia do CBC	12
3.5.3. Medidas de controle do CBC	12
3.6 Resistência ao CBC em <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	13
3.7 Fenotipagem da resistência a doenças.....	14
3.7.1 Índices foliares e o uso de Espectrômetro	15
3.8 Termografia infravermelha	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Germoplasma e condições experimentais	21

4.2 Testes de patogenicidade	28
4.3 Estimativas da severidade do CBC foliar e em vagens.....	29
4.4 Determinação de índices de reflectância foliares	32
4.5 Imagem Termográfica Infravermelha	34
4.6 Análise Estatística	35
4.6.1 Variáveis de severidade do CBC	36
4.6.2 Índices de reflectância foliares	36
4.6.3. Diferenciais de temperaturas	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Severidade do CBC foliar no feijoeiro inoculado pelo método de corte com tesoura	38
5.2 Severidade do CBC foliar no feijoeiro inoculado pelo método de infiltração	40
5.3 Severidade do CBC em vagens de feijoeiro.....	43
5.4 Efeitos da infecção de <i>Xap</i> nos índices de reflectância foliar de genótipos de feijoeiro	46
5.5 Efeitos da infecção de <i>Xap</i> na temperatura foliar de genótipos de feijoeiro.....	52
6. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Comprimentos, frequências e temperaturas das ondas eletromagnéticas. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. Fonte: NASA 16
- Figura 2.** Distribuição das radiações: Ri: Radiação incidente; Rr: Radiação refletida; Ra: Radiação absorvida; Rt: Radiação transmitida nas folhas. Fonte: Moreira, 2004. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020..... 16
- Figura 3.** Comprimentos de onda e taxas de fotossíntese para os índices de pigmentos fotoquímicos de clorofila e caroteno. Fonte: (Shimabukuro et al., 1998). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. 17
- Figura 4.** A: Mini espectrômetro foliar CID Bio-Science (CI-710 Leaf Spectrometer); B: Interface do programa. Fonte: <https://cid-inc.com/>. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020..... 17
- Figura 5.** A. Câmera termográfica modelo FLIR; B. Representação esquemática de medição termográfica. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. 19
- Figura 6.** Temperaturas mínimas e máximas registradas dentro da casa de vegetação durante o período de avaliação do crestamento bacteriano comum em folhas de genótipos de feijoeiro em duas épocas do ano (experimento 1 - 14/05 a 03/06/2019; experimento 2 - 06 a 26/10/2019). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020..... 27

Figura 7. A. Inoculação por infiltração com seringa em folíolos de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. a uma concentração de 10^7 UFC/mL ⁻¹ de <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> . B. Método de inoculação com agulha entomológica com colônias bacterianas puras. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	29
Figura 8. Escalas de notas para determinação do grau de severidade quanto à reação <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> em folhas e vagens de feijoeiro inoculadas, respectivamente, pelos métodos de infiltração (A) e corte com tesoura (B) e por ferimento com agulha entomológica (C). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	30
Figura 9. Interface do programa FLIR Tools e respectivas ferramentas de atalho usadas para o processamento e análise das imagens termais com pseudo-cores variando do azul (menores temperaturas, área foliar saudável) ao vermelho (maiores temperaturas, ponto de infecção não visível a olho nu). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	34
Figura 10. Caracterização precoce do desenvolvimento do crestamento bacteriano comum em folhas de feijoeiro inoculadas por infiltração com <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> baseada em imagens infravermelhas. A) imagem de reflexão (RGB) e B) Imagem termal (pseudo-cores) com os pontos de mensuração (elipses) na área foliar com infecção não visível a olho nu (vermelho, maior temperatura) e área foliar saudável (azul, menor temperatura). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.	35
Figura 11. Correlação de Spearman (ρ) entre as variáveis AACPD, PI, NF nas folhas nas concentrações 10^6 UFC/mL ⁻¹ e 10^7 UFC/mL ⁻¹ conduzidos em dois períodos e AACPD, PI, NF nas vagens inoculadas com cultura pura de <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> . UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.	40
Figura 12. Médias da variável diferencial de temperatura média foliar (DTM em °C) em 60 genótipos de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. avaliados as 24, 48 e 72 horas após a inoculação com <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> . UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.	54
Figura 13. Imagens de reflexão (RGB) e imagens termal (pseudo-cores) dos genótipos BAC-6, UENF 2328 e UENF 2335 (resistente) e UENF 2320 (suscetível). A: 24h após a inoculação com <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> . B: três dias após a	

inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. Vermelho: maior temperatura; Azul: menor temperatura..... 57

Figura 14. Coeficiente de correlação entre as variáveis área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e diferenciais de temperatura média foliar 24 horas após a inoculação (DTM1), 48 horas após a inoculação (DTM2) e 72 horas após a inoculação (DTM3), de 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L., com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais doenças bacterianas, fúngicas e virais do feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	10
Tabela 2. Identificação dos genótipos de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. quanto ao nome comum e local de coleta. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	22
Tabela 3. Descrição das escalas de notas usadas para determinação da severidade do crestamento bacteriano comum causado por <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> em folhas e vagens de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. inoculadas, respectivamente, pelos métodos de infiltração (A) e corte com tesoura (B) e por ferimento com agulha entomológica (C). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	31
Tabela 4. Índices de reflectância foliares mensurados para associação com a evolução da severidade dos sintomas do crestamento bacteriano comum foliar em feijoeiro e suas respectivas fórmulas e referências consultadas.....	33
Tabela 5. Valores da área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI) em genótipos de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. inoculadas com <i>X. axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> , na concentração de 10^7 UFC/mL ⁻¹ por corte da folha com tesoura, avaliados durante 18 dias após a inoculação. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....	39

- Tabela 6.** Médias da área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI em dias) observadas em genótipos de *P. vulgaris* L. inoculados por infiltração com *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (10^6 UFC/mL⁻¹) e avaliados diariamente durante seis dias após inoculação em duas épocas do ano. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.42
- Tabela 7.** Resumo da análise de variância para o diâmetro da lesão (DL em cm) em vagem em feijoeiro comum causada pela infecção por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*.43
- Tabela 8.** Agrupamento de 61 genótipos de feijoeiro baseado na severidade média do crestamento bacteriano comum estimado em vagens aos oito dias após a inoculação, determinadas em centímetros, com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.45
- Tabela 9.** Resumo da ANOVA para seis índices de reflectância foliar observados nos 62 genótipos (A) de *Phaseolus vulgaris* L. inoculados por infiltração com suspensão bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) e com água deionizada estéril (B) e avaliados diariamente por seis dias após a inoculação (C). UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.47
- Tabela 10.** Comparação entre as médias dos seis índices de reflectância foliar obtidos em seis dias de avaliação de 62 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* a uma concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ e com água deionizada estéril. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.48
- Tabela 11.** Comparação entre as médias dos índices de reflectância foliar observados para dois tipos de inoculação, suspensão de *Xanthomas axonopodis* pv. *phaseoli* (10^6 UFC/mL⁻¹) e água deionizada estéril, em 62 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. avaliados diariamente por seis dias após a inoculação. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.48
- Tabela 12.** Resumo da ANOVA para a variável diferencial médio de temperatura foliar em 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. inoculados por infiltração com suspensão bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) avaliados

diariamente por três dias. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....53

Tabela 13. Agrupamento de médias da variável diferencial de temperatura média foliar (DTM em °C) em 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. avaliados as 24, 48 e 72 horas após a inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.....55

RESUMO

FUKUJI, Karina Kazue Nakamura, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 14 de fevereiro de 2020, Termografia e espectrometria na fenotipagem de variedades locais de feijoeiro quanto a reação ao cretamento bacteriano comum. Orientadora: Rosana Rodrigues. Conselheiros: Telma Nair Santana Pereira e Marcelo Vivas.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em todos os continentes e é considerado uma das leguminosas de maior relevância sócioeconômica para o Brasil. Essa cultura é vulnerável ao ataque de muitos fitopatógenos, sendo o cretamento bacteriano comum (CBC), causada pela *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, a principal doença de origem bacteriana. Esta pesquisa teve por objetivo caracterizar variedades locais de feijoeiro comum quanto à reação ao CBC por meio de escalas de severidade, imagens termais e índices de reflectância foliares. Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação com 62 genótipos sob delineamento em blocos casualizados com três repetições para o método de inoculação foliar por infiltração (10^6 UFC/mL⁻¹) e seis repetições para o método de inoculação por corte com tesoura (10^7 UFC/mL⁻¹), usando o inóculo de *Xap* '139-y'. As avaliações do CBC foliar foram conduzidas em duas épocas do ano (maio e outubro/2019). A severidade do CBC em vagens foi conduzida apenas no primeiro ensaio, realizando a inoculação por punção com agulho entomológica com cultura bacteriana pura. A caracterização dos sintomas nas folhas foi realizada por meio da avaliação visual com escalas de notas e foram estimados: área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), período de incubação (PI) e nota no último dia

de avaliação (NF). A caracterização dos sintomas nas vagens foi realizada por mensuração do diâmetro da lesão aos 8 DAI por imagens *RGB* processadas no *ImageJ*. Avaliações diárias da reflectância foliar até 6DAI foram realizadas nos genótipos inoculados por infiltração (*Xap* e H₂O estéril) no experimento 1, usando mini espectrômetro. Nove índices foram estimados: *Normalized Difference Vegetation Index*, *Water Band index*, *Structure Insensitive Pigment Index*, *Greenness Index*, *Anthocyanin Reflectance Index 2* e *Normalized Total Pigment to Chlorophyll Index*. Imagens termais dos genótipos inoculados por infiltração com *Xap* no experimento 1 foram capturadas diariamente até 3 DAI por câmera termográfica infravermelha. O diferencial de temperatura máxima (DTM) foi estimado pela diferença das temperaturas da área foliar doente e área foliar sadia. A severidade do CBC foliar estimadas para o método de inoculação por corte com tesoura foi superior as estimativas do método de inoculação por infiltração. Os genótipos BAC-6, UENF 2335 UENF 2328 foram resistentes ao CBC foliar. Os genótipos UENF 2335 e UENF 2346 foram resistentes e BAC-6 e UENF 2328 foram moderadamente resistentes ao CBC na vagem. Com a termografia conseguimos observar o progresso do CBC e distinguir os indivíduos com menor diferencial de temperatura precocemente, foi possível discriminar genótipos resistentes como BAC-6 e UENF 2335 e UENF 2328. Com os índices de reflectância foliares fornecidos pelo espectrômetro, foi possível avaliar o progresso do CBC foliar ao longo dos dias e identificar diferenças nos padrões de reflectância do tecido foliar saudável e tecido foliar doente, mas não houve diferenças significativas entre os genótipos. Os índices de reflectância foliar e imagens termais permitiram diagnosticar a infecção de *Xap* nos genótipos de feijoeiro antes do surgimento de sintomas visíveis a olho nu. A análise termográfica aos três dias após a inoculação apresentou alta confiabilidade na discriminação dos níveis de resistência ao CBC foliar nos genótipos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*; fenotipagem de alta precisão; imagens termais; reflectância foliar.

ABSTRACT

FUKUJI, Karina Kazue Nakamura, M.S., Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, February 14, 2020, Thermography and spectrometry in the phenotyping of local bean varieties regarding the common bacterial blight. Advisor: Rosana Rodrigues, Committee members: Telma Nair Santana Pereira and Marcelo Vivas.

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is grown on all continents and is one of the most important legumes for Brazil. This culture is vulnerable to the attack of many phytopathogens, being the common bacterial blight (CBC), caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, the main bacterial disease. The objective of this research was to characterize local varieties of common bean to the reaction to CBC by means of severity scales, thermal imaging, and leaf reflectance indices. The assays were conducted in a greenhouse with 62 genotypes under a randomized block design with three replications for the method of leaf inoculation by infiltration (10^6 UFC / mL⁻¹) and six replicates for the method of inoculation by cutting with scissors (10^7 UFC / mL⁻¹), using the Xap '139-y' inoculum. Leaf CBC assessments were conducted at two seasons (May and October / 2019). The severity of CBC on pods was conducted only in the first trial, performing the inoculation by puncture with entomological needle with pure bacterial culture. The characterization of symptoms on leaves was performed by means of visual assessment with score scales and the area under the disease progress curve (AUDPC), incubation period (PI) and score on the last evaluation day (NF) were estimated. The characterization of symptoms in the pods was performed by measuring the diameter of the lesion on

8DAI using RGB images processed by ImageJ. Daily leaf reflectance assessments up to 6DAI were performed on the genotypes inoculated by infiltration (*Xap* and sterile H₂O) in experiment 1, using a mini spectrometer. Six indices were estimated: Normalized Difference Vegetation Index, Water Band index, *Structure Insensitive Pigment Index*, Greenness Index, Anthocyanin Reflectance Index 2 and Normalized Total Pigment to Chlorophyll Index. Thermal images of the genotypes inoculated by *Xap* infiltration in experiment 1 were captured daily up to 3DAI by an infrared thermographic camera. The maximum temperature differential (TMD) was estimated by the difference between the temperatures of the diseased leaf area and the healthy leaf area. The severity of CBC on leaf estimated for the scissors cut inoculation method was higher than the infiltration inoculation method estimates. The genotypes BAC-6, UENF 2335 UENF 2328 were resistant CBC on leaf. The genotypes UENF 2335 and UENF 2346 were resistant and BAC-6 and UENF 2328 were moderately resistant to CBC on pods. By thermal imaging we were able to access the progress of the CBC in leaf and distinguish individuals with the lowest temperature differential early, it was possible to discriminate resistant genotypes such as BAC-6 and UENF 2335 and UENF 2328. Leaf reflectance indices provided by the spectrometer make it possible to evaluate the progression of leaf CBC over the days and identify differences in the reflectance patterns of healthy leaf tissue and diseased leaf tissue, but there were no significant differences between genotypes. The foliar reflectance indices and thermal images made it possible to diagnose *Xap* infection in bean genotypes before the appearance of symptoms visible to the naked eye. The thermographic analysis at three days after inoculation showed high reliability in discriminating the levels of resistance to leaf CBC in the genotypes.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*; high precision phenotyping; thermal imaging; leaf reflectance.

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado uma das principais leguminosas cultivadas no mundo, sendo uma importante fonte de proteínas, fibras alimentares (solúveis e insolúveis), minerais (cálcio, potássio, magnésio, ferro, zinco, manganês e cobre) e vitaminas (especialmente as vitaminas do complexo B) na alimentação humana, principalmente nos países em desenvolvimento (Shailendar et al. 2015).

No Brasil, essa cultura é considerada muito importante para o cenário agrícola, pois abrange várias regiões, seja qual for o sistema de produção, além de ter importante função socioeconômica. O feijão é considerado um alimento básico proteico, parte da dieta diária da maioria dos brasileiros, e que se sobressai pelas suas peculiaridades nutricionais, pois, além de rico em proteínas, é uma ótima fonte de carboidratos, vitaminas, minerais e fibras (Lovato et al., 2018).

Em relação à produção média dos países que compõem o Mercosul, o Brasil tem hegemonia como o principal produtor e consumidor, com uma produção de 3,364 milhões de toneladas. O país importa feijão da Argentina, embora venha se empenhando para exportar o seu produto brasileiro para países como EUA e África do Sul (CONAB, 2018).

A principal causa da queda de produtividade é sem dúvida devido ao baixo nível tecnológico empregado na cultura, predominantemente cultivada por agricultores familiares (CONAB, 2018). A ocorrência de doenças e pragas podem

contribuir para perdas significativas de produtividade ou até mesmo na inviabilização de determinadas áreas para o cultivo (Paula Junior et al., 2015).

Dentre as inúmeras doenças que podem afetar a cultura, destacam-se a antracnose causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, fusariose causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*, mosaico dourado causado por vírus BGMV (*Bean Golden Mosaic Virus*) e o crestamento bacteriano comum causado pela bactéria *Xanthomonas axonophodis* pv. *phaseoli* (*Xap*) (Jasper, 2010).

Dentre as doenças que podem representar perdas significativas na produção, dependendo das condições ambientais prevalecentes, encontra-se o crestamento bacteriano comum, cujo patógeno encontra-se disseminado em praticamente todas as regiões produtoras, com maior importância nos Estados do Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e na região do Brasil Central, sobretudo na safra das águas (Torres et al., 2009). O crestamento bacteriano é largamente distribuído e provoca redução na colheita de 10 a 70% em condições de ocorrência natural (Díaz, 2000). O patógeno é disseminado principalmente por meio de sementes contaminadas (Francisco et al., 2013).

O uso de genótipos resistentes é uma importante medida de controle de doenças, fazendo parte do manejo integrado das culturas, e contribuindo para a redução dos custos e dos riscos associados à aplicação em excesso de defensivos agrícolas (Theodoro et al., 2007). É de interesse do melhorista, a identificação de genótipos de feijão com resistência, o que contribui para a incorporação desses genes em genótipos suscetíveis com potencial produtivo (Chiorato et al., 2015).

As variedades locais de feijão-comum são fundamentais pois constituem a diversidade genética do germoplasma nacional, tornando-se importantes para a preservação e caracterização (Blair et al., 2013). As variedades locais se constituem importantes fontes de genes de interesse para a adaptação, resistência a pragas e doenças, dentre outras características agrônômicas (Raggi et al., 2013).

Os métodos convencionais para avaliações da resistência a doenças em plantas são laboriosos, demandam mão de obra especializada, e é um processo demorado e exaustivo. A identificação das respostas precoces ao estresse biótico, isto é, antes do surgimento de sintomas, otimizam o tempo de avaliação, reduzem os custos e minimizam o impacto ambiental. As análises de índices foliares por meio do mini espectrômetro e as imagens termográficas infravermelhas são tecnologias que possibilitam a detecção do progresso das doenças de plantas

precocemente e com alto contraste, além de otimizarem o tempo e aumentar o poder discriminatório das análises (Oerke et al., 2006).

A eficiência do uso de imagens termográficas para identificar doenças em plantas antes que surjam os sintomas visíveis através do diferencial de temperatura de áreas das plantas saudáveis e infectadas tem sido reportada em diferentes patossistemas (Oerke et al., 2011; Mahlein et al., 2012; Zhu et al., 2018; Wen et al., 2019). Os índices de reflectância foliares, especialmente, índices que envolvem pigmentos foliares, senescência da planta e índice de água têm contribuído para identificar o estado fisiológico e a presença de doenças antes do surgimento aparente dos sintomas na planta (Yusuf et al., 2010; Bussotti et al., 2012).

O potencial de uso de medidas de reflectância para quantificar os danos causados pela ferrugem asiática da soja (*Phakospora pachyrhizi*) é relatado por Hikishima et al. (2008). Newby et al. (2019) utilizaram índices para a detecção de infecção por *Phytophthora cinnamomi* em vegetação nativa australiana. Lin et al. (2018) avaliaram os índices espectrais para detectar o oídio precoce no trigo. Wen, (2019) fez a detecção pré-sintomática de *Pseudoperonospora cubensis* na cultura do pepino. Zhu et al. (2018) estudaram as doenças causadas por *Cucumber mosaic virus* (CMV) e *Puccinia triticin* em tomate e trigo, respectivamente, com imagens termográficas, e observaram o aumento da temperatura para ambos os patossistemas. Na sarna da macieira, causada por *Venturia inaequalis*, Oerke et al. (2011) observaram redução na temperatura nas folhas infectadas pelo fungo empregando termografia.

Em feijoeiro comum, há poucos relatos sobre o uso das técnicas termografia infravermelha e índices de reflectância foliares para a detecção precoce de doenças. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo aplicar a termografia infravermelha e índices de reflectância foliares para detectar o desenvolvimento do crestamento bacteriano comum em *P. vulgaris* na fase pré-sintomática.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Caracterizar variedades locais de feijoeiro comum quanto à reação a *X. axonopodis* pv. *phaseoli*, bactéria causadora do crestamento bacteriano comum (CBC), por meio de escalas de severidade, imagens termais e índices de reflectância foliares.

2.2. Objetivo Específicos

Estabelecer protocolos otimizados para análise do crestamento bacteriano comum foliar no feijoeiro antes do surgimento dos sintomas visíveis, empregando imagens termais e índices de reflectância foliar;

Avaliar a severidade do CBC foliar no feijoeiro inoculado pelos métodos de infiltração e corte com tesoura;

Identificar genótipos de feijoeiro comum resistentes ao crestamento bacteriano comum em folhas e vagens.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem e domesticação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão comum é originário da região central do México (Rendón-Anaya et al., 2017), sendo que as populações silvestres crescem desde o Norte do México até o Norte da Argentina, em altitudes de 500 a 2.000 m (Debouck, 1986; Schmutz et al., 2014). Estudos com base em evidências morfológicas, bioquímicas e moleculares têm mostrado que esta espécie foi domesticada, independentemente, nas regiões Mesoamericana e Andina, resultando em dois *pools* gênicos ecogeográficos (Gepts e Debouck, 1991; Gepts, 1998; Kwak e Gepts, 2009).

A partir de trabalhos realizados por Schmutz et al. (2014) e Vlasova et al. (2016), nos quais sequenciaram-se os genomas do feijão Andino G19833 e do feijão Mesoamericano BAT 93, respectivamente, dois *pools* gênicos foram confirmados, indicando que o primeiro centro de origem da espécie foi o México dada a maior diversidade de linhagens no Norte em relação às regiões Centro e Sul da América Central.

Evidências morfológicas e moleculares indicam que o gênero *Phaseolus* reúne cerca de 70 espécies, das quais cinco são consideradas domesticadas: *P. vulgaris* (feijão-comum e feijão-de-vagem), *P. lunatus* (feijão-de-lima e fava-de-lima), *P. coccineus* (feijão-da-espanha), *P. acutifolius* e *P. polyanthus* (Debouck, 1991; Delgado-Salinas, 2006). Entre todas essas espécies, o feijão-comum é considerado o mais importante, por ser a mais cultivada, logo, a mais consumida.

O feijoeiro comum é diploide com $n = 11$ cromossomos ($2n = 2x = 22$) e genoma com tamanho estimado de 588 Mbp (Bennett, 1995; Vieira et al., 1999). As sementes se distinguem em dois grandes grupos de importância como as Mesoamericanas, que possuem em sua maioria grãos menores, com massa variando de 3,5 a 6,5 gramas, enquanto o *pool* gênico Andino apresenta sementes maiores, variando de 11,6 a 13,9 gramas, como o tipo Jalo (Vlasova et al., 2016).

A classificação para a determinação do centro de origem é feita considerando-se a presença do gene *Phs*, que é um codificador da proteína faseolina, encontrada nas reservas da semente correspondendo a pelo menos 10 tipos de alelos diferentes (Gepts, 1990). Os genótipos de origem Mesoamericana possuem faseolina dos tipos 'B' e 'S', enquanto os grãos advindos dos Andes dispõem da faseolina dos tipos 'A', 'C', 'H' e 'T' (Gepts et al., 1986).

Há indícios de que mesmo antes da colonização portuguesa os povos indígenas já cultivavam o feijoeiro, e existem estudos que focam a sua introdução no país, através do México pela costa do Caribe até a Colômbia e Venezuela (Freitas, 2006). Ademais, é provável que diferentes genótipos tenham sido introduzidos pelos imigrantes europeus e escravos africanos (Vieira, 1988).

A cultura do feijoeiro se consolidou a principal forma de proteína e se tornou a base da alimentação diária dos brasileiros, sendo um alimento que todas as classes sociais consomem, e que é cultivado em todas as regiões do país, em diferentes biomas e contextos socioculturais (Vieira, 1988). O Brasil é detentor de uma vasta variabilidade de germoplasma e é considerado um centro de diversidade secundário (Burle et al., 2010).

3.2 Aspectos botânicos e morfológicos do feijoeiro

O feijão comum pertence a espécie *Phaseolus vulgaris* L., gênero *Phaseolus* L., subtribo Phaseolineae, tribo Phaseoleae, família Fabaceae, ordem Rosales, classe Dicotyledoneae e ao ramo Embryophytae Syphonogamae (Schmutz et al.; 2014).

O feijoeiro é considerado uma espécie predominantemente autógama, pois, a sua estrutura floral favorece a autofecundação, devido o estigma e os estames estarem dispostos unidos em espiral favorecendo o grão de pólen se depositar sobre o estigma por ocasião da abertura da flor. Porém, a autofecundação

não está garantida, dada a possibilidade de ocorrência de pequenas taxas de fecundação cruzada por intermédio dos insetos (Ibarra-Perez et al., 1997).

As plantas de feijoeiro podem apresentar dois tipos de hábito de crescimento: determinado e indeterminado. O hábito de crescimento determinado é caracterizado por sua porção terminal da haste que termina com uma inflorescência, enquanto, no indeterminado, a extremidade da haste possui um meristema vegetativo que dar continuidade ao crescimento da planta (Oliveira et al., 2018). O hábito de crescimento é classificado baseado no tipo de orientação das ramificações: tipo I determinado arbustivo, com ramificações eretas e fechadas; tipo II indeterminado, com ramificações eretas e fechadas; tipo III indeterminado, com ramificações abertas e o tipo IV indeterminado, prostrado ou trepador (Aguiar et al., 2014).

O ciclo do feijão pode variar entre 65 a 110 dias, desde a emergência até a maturação completa da planta (Oliveira et al., 2018). Convencionou-se dividir o ciclo em duas fases, a vegetativa (V) e reprodutiva (R), com cinco etapas em cada fase: V0 = germinação; V1 = emergência; V2 = folhas primárias; V3 = primeira folha trifoliolada; V4 = terceira folha trifoliolada; R5 = pré-floração; R6 = floração; R7 = formação das vagens; R8 = enchimento de vagens; R9 = maturação. O que caracteriza a diferença da duração dessas etapas é o hábito de crescimento da planta (Mariot, 1989).

O fruto do feijoeiro é uma vagem formada por duas valvas unidas por duas suturas. Já a semente não possui albume e pode apresentar uma enorme diversidade de cores dos mais variados tons e até mesmo apresentar desenho de pontuações, cores rajadas e manchas, opaca ou brilhosa, com presença ou ausência de halo (Silva, 2005).

De acordo com a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento Governo do Estado do Paraná - SEAB, (2016), o cultivo dessa leguminosa é realizado em três safras:

1ª safra - “safra das águas”, cujo plantio na Região Sul e Sudeste vai de agosto a dezembro; e a colheita nos meses de novembro a abril. Já na Região Centro-Oeste, Nordeste e Norte, o plantio é de outubro a fevereiro; e a colheita de janeiro a maio.

2ª safra - “safra das secas”, que abrange todos os estados brasileiros. O plantio na Região Sul e Sudeste vai de janeiro a abril, e a colheita nos meses de

março a agosto. Já na Região Centro-Oeste, Norte e Nordeste, o plantio fica entre os meses de janeiro a junho e a colheita de março a setembro.

3ª safra - “safra de outono/inverno”, na qual o plantio na Região Sul e Sudeste vai de março a junho e a colheita nos meses de junho a outubro, enquanto na Região Centro-Oeste, Norte e Nordeste, o plantio é realizado nos meses de abril a junho e a colheita de junho a outubro.

A faixa de temperatura para a cultura do feijoeiro varia de 18 a 30° C, uma flutuação que permite o cultivo em regiões com temperaturas amenas até temperaturas elevadas. No entanto, a cultura é extremamente sensível a intempéries climáticas extremas, não suportando em demasia o frio e geadas e alta ou baixa umidade do solo (Andrade, 2015).

3.3 Importância econômica e nutricional

A ONU projeta que a população mundial será de 9,7 bilhões até 2050, 10,8 bilhões até 2080 e 11,2 bilhões até 2100. Em comparação com aproximadamente 7,3 bilhões de pessoas em 2015, a população aumentará em cerca de 32%, 47% e 53%, nesses três períodos futuros, respectivamente (FAO, 2018).

Globalmente, a cultura do feijão é responsável por cerca de 50% do consumo de grãos, devido às suas características nutricionais e é responsável por até 36% da ingestão diária de proteínas, além de possuir vitaminas A1, complexo B, C e E, (Shailendar, Kumar et al. 2015). Os grãos de feijão apresentam alto nível de aminoácido lisina e carboidratos complexos (em média 60%), são ricos em fibras e minerais, destacando-se o ferro, o potássio, o magnésio e o zinco (Messina, 2014), bem como, compostos fenólicos que contribuem com efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios, anticâncer e antimutagênicos (Rocha-Guzmán et al., 2007).

A produção mundial de feijão seco no ano de 2017 correspondeu em cerca de 31 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores Índia com 6.390.000 t, Myanmar 5.466.166 t, Brasil 3.033.017 t, Estados Unidos 1.333.557 t, China 1.333.557 t e México 1.183.868 t, estes seis países juntos totalizam 61% de toda produção de feijão (FAOSTAT, 2017).

Em relação à produção média dos últimos quatro anos dos países que compõem o Mercosul, o Brasil tem hegemonia como o principal produtor e consumidor, com uma produção média anual de 3.364 milhões de toneladas. O

Brasil tem importado o feijão da Argentina, mas tem se empenhado em exportar para alguns países, como EUA e África do Sul (CONAB, 2018).

O cultivo do feijoeiro no Brasil é comumente realizado por pequenos e médios produtores, sendo em sua maioria produzido pela agricultura familiar (Borém e Carneiro, 2015). O cultivo do feijão é considerado de risco pela baixa tecnificação, uso de sementes de baixa qualidade, períodos críticos de plantio, colheita e a suscetibilidade a pragas e doenças (CONAB, 2016).

A produtividade média no Brasil é de 1.085 t/há em 2019. Entre os estados brasileiros mais produtivos estão o Paraná com produção de 613 mil toneladas e produtividade de 1.551 t/ha, Minas Gerais com 542 mil toneladas e 1.492 t/ha, Mato Grosso com 344 mil toneladas e 1.452 t/ha. Em contraste, Goiás produz 304 mil toneladas e apresenta uma produtividade de 2.318 t/ha que é bem superior ao observado nos demais estados produtores (CONAB, 2019). No ano de 2019, o Brasil teve uma área plantada de 79.246.491 hectares, área colhida de 77.965.516 hectares e produção 3.039.651 toneladas IBGE, (2019).

3.4. Principais doenças do feijoeiro comum

O feijoeiro é uma cultura altamente produtiva, no entanto, incidências de doenças podem acarretar uma significativa perda de produtividade ou até mesmo na inviabilização de determinadas áreas para o cultivo (Paula Junior et al., 2015). Muitas espécies de patógenos, incluindo vírus, bactérias, fungos e nematoides podem infectar a cultura e acredita-se que mais de 45 doenças ocorram durante seu ciclo, acarretando em grandes perdas da produtividade (Wendland et al., 2014), e também na qualidade fisiológica, sanitária, nutricional e comercial do produto (Boersma et al., 2015). As principais doenças de etiologia viral, bacteriana e fúngica que ocorrem no feijoeiro comum são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais doenças bacterianas, fúngicas e virais do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Doença	Agente etiológico
Bactérias	
Crestamento bacteriano aureolado	<i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>phaseolicola</i> (Psp)
Mancha parda bacteriana	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> (Pss)
Crestamento bacteriano comum	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> (Xap)
Fungos	
Podridão radicular	<i>Aphanomyces euteiches</i> (Ae)
Antracnose	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i> (Cl)
Murcha de Fusarium	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>phaseoli</i> (Fop)
Podridão seca radicular	<i>Fusarium solani</i> f.sp. <i>phaseoli</i> (Fsp)
Mofo branco	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Ss)
Ferrugem	<i>Uromyces appendiculatus</i> (Ua)
Viroses	
Mosaico comum	<i>Bean common mosaic virus</i> (BCMV)
Mosaico comum necrótico	<i>Bean common mosaic necrosis virus</i> (BCMNV)
<i>Beet curly top</i>	<i>Beet curly top virus</i> (BCTV)
Mosaico dourado	<i>Bean golden mosaic virus</i> (BGMV)
Mosaico dourado amarelo	<i>Bean golden yellow mosaic virus</i> (BGYMV)
<i>Mild curly top</i>	<i>Beet mild curly top virus</i> (BMCTV)
<i>Severe curly top</i>	<i>Beet severe curly top virus</i> (BSCTV)
<i>Bean yellow disorder virus</i>	<i>Bean yellow disorder virus</i> (BNYDV)
Mosaico amarelo	<i>Bean yellow mosaic virus</i> (BYMV)
<i>Bean southern virus SBMV</i>	<i>Southern bean mosaic virus</i> (SBMV)
Vírus do pepino	<i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)

Fonte: [International seed Federation](#) (2019).

3.5 Crestamento bacteriano comum (CBC)

O CBC foi descrito pela primeira vez nos EUA. Esta bacteriose é largamente distribuída e provoca redução na colheita de 10 a 70% em condições de ocorrência natural (Díaz, 2000). No Brasil, o CBC foi identificado pela primeira vez no Estado do Pará por Robbs (1954). Mais tarde, Kimati e Mascarenhas (1967) e Paradela Filho et al. (1967) encontraram a doença no Estado de São Paulo.

A portaria nº 3 de 5 de janeiro de 2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), considera *Xanthomonas axonopodis* pv.

phaseoli como praga não-quarentenária e adota tolerância zero para a presença deste patógeno em lotes de sementes.

3.5.1. Etiologia do CBC

O agente causal do crestamento bacteriano comum é a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, que formam colônias amareladas, brilhantes e circulares. A bactéria é baciliforme, gram negativa, com flagelo polar, metabolismo oxidativo da glicose e aeróbia (Bianchini et al., 2005).

O patógeno é disseminado principalmente por meio de sementes (Francisco et al., 2013), podendo sobreviver nestas em estado hipobiótico por períodos de 2 a 15 anos, tanto em localização interna quanto externa, sem perder a patogenicidade (Bianchini et al., 2005). As sementes são fontes primárias de inóculo, sendo a água de chuva ou de irrigação por aspersão eficientes disseminadores secundários e os insetos também podem atuar como fontes para disseminação do patógeno (Manzanera et al., 2005).

O crestamento bacteriano ocorre principalmente em regiões quentes e úmidas (Paula Junior et al., 2015). Alta umidade, chuvas frequentes e altas temperaturas, sendo 28°C a 32°C ideais, fornecem as condições ótimas para o desenvolvimento da doença (Belete e Bastas, 2017). O tempo para o surgimento dos sintomas é variável em função da temperatura. Em ambientes sob condições de temperatura controladas, Bianchini et al. (2005) relataram que plantas incubadas a 28°C desenvolveram os sintomas da doença após nove dias, e sob 20°C ou 16°C, os sintomas surgiram tardiamente, aos 23 e 27 dias após a inoculação, respectivamente.

As condições de armazenamento das sementes podem contribuir para a preservação e propagação de *Xap* (Belete e Bastas, 2017). Ao armazenar as sementes na estação com condições de temperatura e umidade, as quais são ideais para a propagação do CBC, é possível que uma única fonte de inóculo, como uma semente, contamine uma área equivalente a um círculo de 8 metros em seu entorno (Díaz et al., 2001). A incidência de 0,5 % de sementes infectadas é o suficiente para iniciar a epidemia (Bianchini et al., 2005).

3.5.2. Sintomatologia do CBC

A bactéria pode adentrar na planta via foliar através dos estômatos ou por ferimentos colonizando o espaço intercelular causando a destruição das células da lamela média (Jacques et al., 2005). Nas sementes, a penetração direta pelo tegumento não foi observada (Darsonval et al., 2008), porém, a bactéria pode sobreviver sobre o tegumento e entrar pelos cotilédones no momento da germinação, causando a infecção na planta jovem (Jacques et al., 2005).

Os sintomas nas folhas se iniciam com a presença de anasarca (pequenas lesões com aspecto encharcado do tecido, de coloração verde-escura), com a evolução da doença as lesões vão ganhando dimensões maiores e com uma coloração marrom, com bordos amarelados, devido a morte celular causando áreas necróticas com aspecto de queima, caracterizando o chamado crestamento (Díaz et al., 2000). Em um processo mais avançado da doença estas lesões podem coalescer causando a redução fotossintética, resultando na morte da planta.

Os sintomas nas vagens são caracterizados por lesões circulares inicialmente em anasarca que se tornam marrom. A bactéria pode penetrar nas vagens via sistema vascular e infectar as sementes sem causar lesões na superfície das vagens (Darrasse et al., 2007). Em casos graves, vagens inteiras podem murchar e morrer (Darrasse *et al.*, 2007). Porém, nas sementes, os sintomas são menos aparentes, podem não apresentar sintomas da doença ou serem ligeiramente enrugadas com manchas marrom (Jacques et al., 2005; Manos et al., 2013). O fato relevante é que a morte da planta se torna inevitável, devido à morte celular nas folhas e vagens, causando a redução da massa verde e reduzindo a disponibilidade de carbono para atender as exigências de manutenção da planta.

3.5.3. Medidas de controle do CBC

As formas preventivas mais eficazes para o CBC, uma vez que não há nenhum produto químico de eficiência comprovada para seu controle, é o manejo integrado de doenças como o uso de sementes livres do patógeno, incorporação de restos culturais, rotação de culturas e plantio direto. Deve-se evitar o plantio em áreas de ocorrência da doença, pois o patógeno pode sobreviver até 15 anos em dormência no solo. A utilização de genótipos resistentes constitui uma forma eficaz

para o controle do CBC do ponto de vista econômico e ambiental (Costa et al., 2008; CIF, 2015; Broetto, 2017).

A maioria das cultivares de feijoeiro, cultivadas nas diferentes regiões do país são suscetíveis ao CBC, porém há cultivares resistentes ao CBC disponíveis como 'BRS Ametista', 'BRS 10408 Notável' e 'BRS Esplendor-preto'. Algumas dessas cultivares apresentam nível moderado de resistência ao CBC, como 'BRS Ametista', 'BRS Pontal' e 'Jalo Precoce' (EMBRAPA arroz e feijão, 2017). As cultivares *Great Northern Nebraska* n^o1 (GN n^o1) e a *Great Northern Nebraska* n^o1 Sel (GN n^o1 Sel.27) constituem exemplos clássicos de cultivares resistentes (Miklas et al., 2003).

As cultivares locais de Santa Catarina 'Vermelho', 'Manteiga', 'Estriado' e 'FC 2060' apresentam reações de resistência ao CBC e têm sido indicadas para uso em programas de melhoramento da cultura (Theodoro, 2004). Algumas linhagens de feijoeiro, provenientes do cruzamento interespecífico de *Phaseolus vulgaris* e *P acutifolius*, apresentam elevados níveis de resistência foliar e de vagem a *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (Kimati et al., 2005). O genótipo BAC-6, o qual foi desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Paraná através do cruzamento entre uma cultivar de feijoeiro comum com grãos do tipo "carioca" e *Great Northern Nebraska* n^o1 Sel.27, foi estudado por Rodrigues (1999) e Trindade et al. (2012) e caracteriza-se como um genótipo com alto nível de resistência ao CBC nas folhas.

3.6 Resistência ao CBC em *Phaseolus vulgaris* L.

A resistência do feijoeiro ao crestamento bacteriano tem sido reportada como geneticamente complexa, sendo oligogênica ou poligênica (Kelly et al., 2003; Santos et al., 2003; Manzanera et al., 2005). Vários QTLs para resistência ao CBC já foram encontrados e estudados no feijoeiro-comum (Viteri, 2015). Os marcadores mais utilizados para seleção assistida e desenvolvimento de cultivares resistentes ao CBC são *BC420*, e *SAP 6* e, em especial, o *SU91* ligado a QTLs que conferem resistência ao CBC localizados nos cromossomos *Pv05* e *Pv08* (Pedraza et al., 1997; Perry et al., 2013). Kelly et al., (2003) e Manzanera et al., (2005) indicaram a existência de mais de 20 QTLs relacionados à resistência ao CBC, com efeitos genéticos variáveis e distribuídos por todos os 11 cromossomos do feijoeiro.

Um aspecto importante quanto à resistência ao CBC, é que a reação do feijoeiro à infecção de *Xap* pode variar em função do estágio de desenvolvimento da planta (Kelly et al., 2003). Desta forma, a avaliação da resistência de feijoeiro à *Xap* se faz necessária tanto em fase vegetativa quanto na fase reprodutiva (Zapata et al., 1985; Trindade et al., 2012; Santos et al., 2013).

Muitos pesquisadores utilizam a avaliação do progresso da doença ao longo do tempo como forma para se determinar a resistência ou suscetibilidade utilizando uma escala diagramática (Trindade et al., 2012; Santos et al., 2013). Essa metodologia se tornou consagrada na literatura, sendo amplamente empregada nos estudos sobre teste de reação na interação planta-patógeno, devido à sua relativa facilidade de aplicação e eficiência para discriminar genótipos resistentes ou suscetíveis a um patógeno (Jeger, 2001).

Por essa abordagem, os genótipos recebem notas de severidade ao longo dos dias de avaliação, o que permite determinar o progresso dos sintomas da doença sobre algum órgão da planta. Posteriormente, as notas atribuídas são utilizadas para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), a qual permite distinguir os indivíduos resistentes (menor AACPD) dos suscetíveis (maior AACPD) (Jeger, 2001).

3.7 Fenotipagem da resistência a doenças

No melhoramento voltado para a resistência a doenças, são empregados protocolos para identificação dos genótipos de interesse. Por exemplo, utilizam-se as escalas de notas, as quais representam os diferentes níveis de severidade da doença, a variável período latente (PL) que se refere ao tempo decorrido da inoculação até o aparecimento dos sinais, e o período de incubação (PI) que corresponde ao período decorrido da inoculação até o aparecimento dos sintomas e a AACPD que se refere à progressão da severidade da doença ao longo do tempo (Zapata et al. 1985, Rocha et al. 2018).

Abordagens que permitam a fenotipagem com maior precisão podem também ser empregadas para caracterização de genótipos para a reação a doenças. Dentro desta perspectiva, tem-se a possibilidade de aplicação de ferramentas mais modernas que permitem a obtenção de índices de reflectância foliares e imagens eletromagnéticas e a associação com os níveis de infecção causados pelo

patógeno. Tais ferramentas trazem consigo vantagens expressivas, como permitirem a detecção precoce e acurada do desenvolvimento da doença e são abordagens não destrutivas. Um desafio atual para a aplicação dessas abordagens em muitos patossistemas consiste na necessidade de protocolos adequados para a geração de resultados confiáveis e que otimizem os estudos de resistência a doença (Oerke et al., 2006).

3.7.1 Índices foliares e o uso de Espectrômetro

A radiação térmica é a transferência de energia do sol para a terra que se dá por irradiação, e a energia é transferida através de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas têm frequência (ν) diferente para cada faixa dentro do espectro eletromagnético (Griffiths, 1999).

As frequências do espectro eletromagnético são conhecidas pelo comprimento de onda, segundo a relação:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad c = \nu \cdot \lambda$$

λ : Comprimento de onda (metros),

c : Velocidade da luz no vácuo (m/s) e

ν : frequência (Hz).

O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência da onda, pois, quanto maior a frequência menor será o comprimento de onda e vice-versa (Figura 1).

A radiação pode se dividir em três frações: 50% é absorvida pelos pigmentos das folhas e será usada para a confecção dos fotoassimilados pela fotossíntese, outra fração é refletida, e a outra é transmitida entre os tecidos adjacentes, (Figura 2) (Moreira, 2004). A refletância nas folhas varia de acordo com o comprimento de onda, pois na região do visível a refletância é menor. Isso se deve à presença de pigmentos fotossintéticos que absorvem grande parte dessa faixa da radiação solar (Figura 3) (Shimabukuro et al., 1998).

A análise dos índices foliares é um método sensível, e ao mesmo tempo eficiente e rápido, capaz de detectar os efeitos de estresse e injúrias no processo fotossintético, além de não ser destrutivo (Yusuf et al., 2010). Esse tipo de análise se torna cada vez mais presente em estudos relacionados aos estresses bióticos e abióticos. A avaliação dos índices foliares permite obter importantes informações

sobre a eficiência do aparato fotossintético das plantas, possibilitando a avaliação do estado fisiológico das mesmas (Bussotti et al., 2012). O mini espectrômetro *CID Bio-Science (CI-710 Leaf Spectrometer)* permite determinar os índices foliares, pois, é capaz de visualizar um espectro que vai de 400 a 950 nm, por meio do princípio do espectro eletromagnético pelo comprimento de onda (Figura 4).

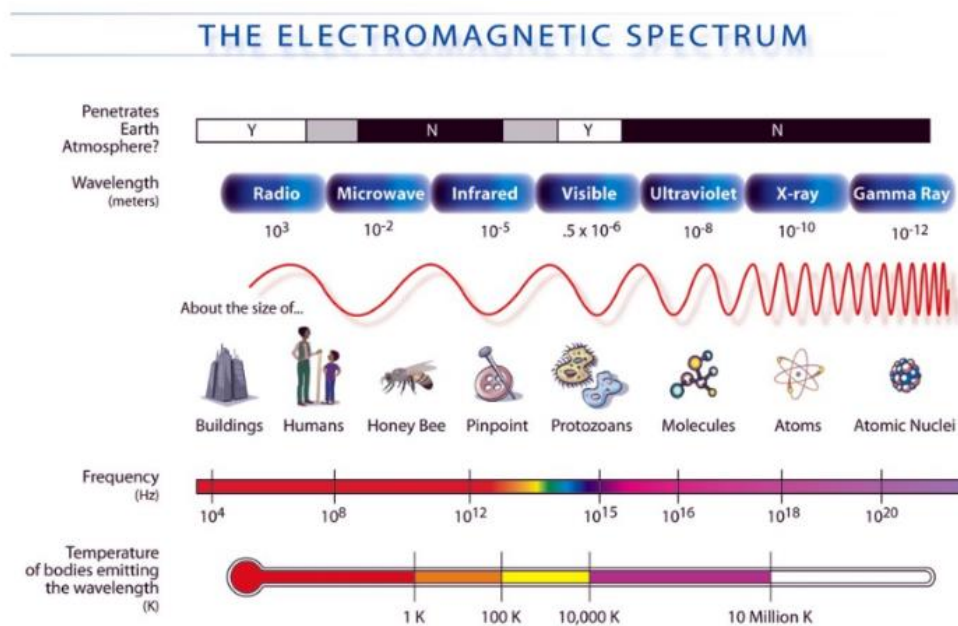


Figura 1. Comprimentos, frequências e temperaturas das ondas eletromagnéticas. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. Fonte: [NASA](#)

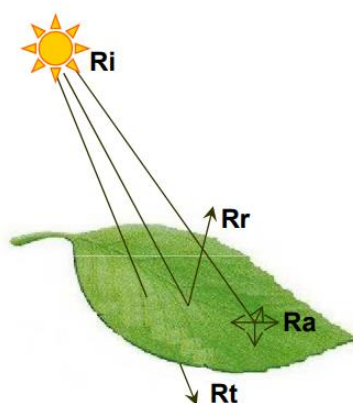


Figura 2. Distribuição das radiações: Ri: Radiação incidente; Rr: Radiação refletida; Ra: Radiação absorvida; Rt: Radiação transmitida nas folhas. Fonte: Moreira, 2004. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

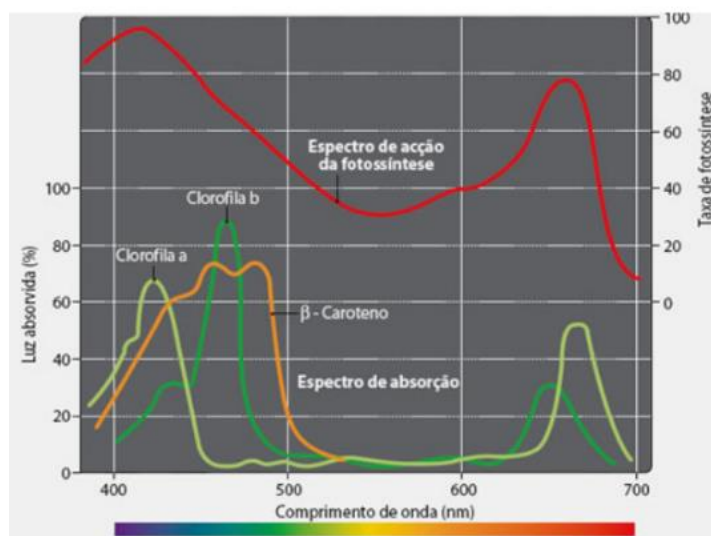


Figura 3. Comprimentos de onda e taxas de fotossíntese para os índices de pigmentos fotoquímicos de clorofila e caroteno. Fonte: (Shimabukuro et al., 1998). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

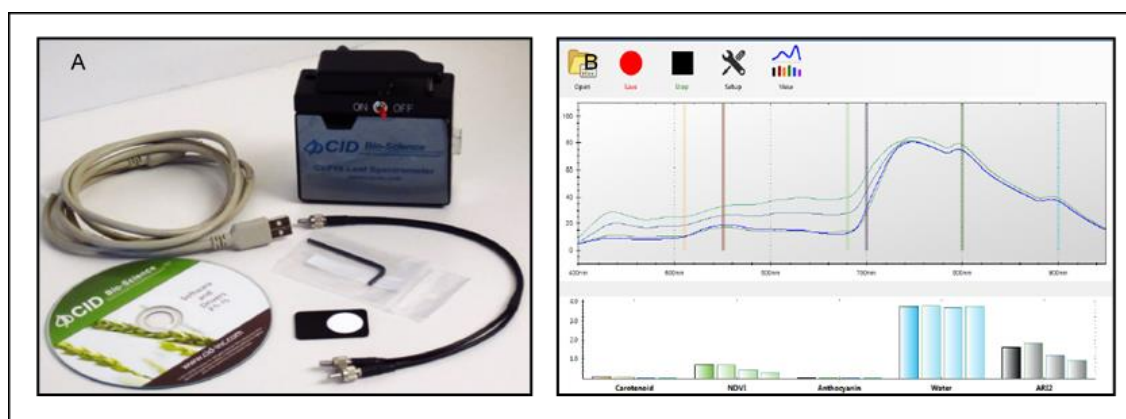


Figura 4. A: Mini espectrômetro foliar CID Bio-Science (CI-710 Leaf Spectrometer); B: Interface do programa. Fonte: <https://cid-inc.com/>. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

3.8 Termografia infravermelha

O princípio da termografia está baseado na lei de Stefan-Boltzmann e propõe que a emissão de radiação infravermelha aumenta com a temperatura dos corpos. Objetos com temperaturas superiores a zero absoluto ($^{\circ}\text{K}$, -273°C) emitem energia eletromagnética no comprimento de onda dos infravermelhos ($0,75 \mu\text{m}$ -

100 μm). A intensidade da radiação térmica emitida por um corpo é dependente da sua temperatura e a capacidade desse em emitir a radiação (Kaplan, 2007). O físico Max Planck em 1900 comprovou que há relação direta entre a temperatura de um corpo e a intensidade da radiação infravermelha que este emite (Mcmanus, 2016).

Com base nesses princípios, os primeiros estudos com termografia surgiram em 1917 quando foi desenvolvido o detector baseado na interação entre emissão de fótons e elétrons de objetos. Em 1946 surgiu o escâner de infravermelho de uso militar, e na década de 1960 foram desenvolvidos os primeiros dispositivos infravermelhos com imagens instantâneas (Cortizo et al., 2008).

A inspeção termográfica por infravermelho é realizada utilizando câmeras termográficas, que é um aparelho que detecta a energia infravermelha e a converte em sinal elétrico, efetua cálculos de temperatura e produz imagens térmicas ou termográficas (Godyn et al., 2013). O sensor da câmera termográfica converte a radiação captada em pulsos elétricos, os quais são amplificados como imagens coloridas, em uma escala de cores correspondente a temperatura do objeto. Posteriormente, estas imagens podem ser analisadas por programas específicos (Sanches, 2009) (Figura 5).

Os resultados obtidos são apresentados instantaneamente, com o auxílio de um programa apropriado à técnica. Os termogramas representam as temperaturas dos corpos na forma de cores (pseudocores), e como a imagem obtida com o termovisor é provida de uma escala de cores com tons avermelhados e azulados que se correlaciona com a temperatura, com estas imagens, também é possível obter-se a temperatura em um ponto ou área do objeto analisado (Eddy et al. 2001; Ruediger et al., 2015).

A termografia é uma técnica não destrutiva, bidimensional, utilizada na medição do campo de temperatura da superfície de todos os tipos de materiais (Giorleo e Meola, 2002). É um método não invasivo capaz de avaliar a temperatura por meio da energia emitida pela superfície de qualquer objeto e transformá-la em uma imagem visível ao olho humano (Sümberra et al 2007). Portanto, essa técnica se tornou muito útil, pois permite monitorar doenças de plantas tanto pré-sintomaticamente quanto ao longo do desenvolvimento da doença (Mahlein et al., 2012).

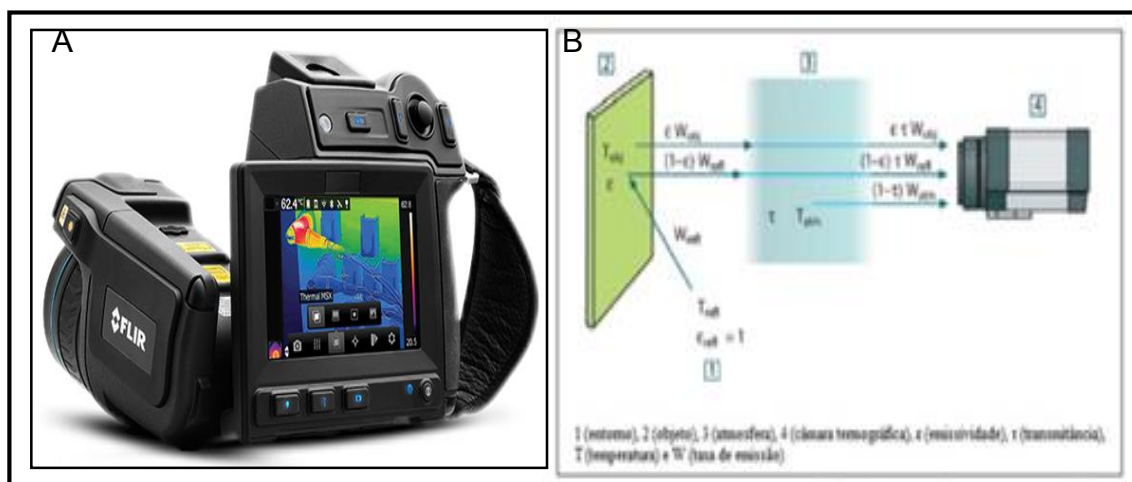


Figura 5. A. Câmera termográfica modelo FLIR; B. Representação esquemática de medição termográfica. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Diversos trabalhos têm utilizado dessa ferramenta para identificar a presença de doenças antes do surgimento aparente dos sintomas. Wen et al. (2019) detectou precocemente os sintomas de *Pseudoperonospora cubensis* na cultura do pepino, acompanhou todo o processo de infecção do patógeno utilizando o infravermelho e com base na média de diferença de temperatura da área sintomática e área não lesionada constatou diferenças térmicas de até 5,36°C.

As doenças causadas pelo vírus *Cucumber mosaic virus* (CMV) e fungo *Puccinia triticina* em tomate e trigo, respectivamente, foram avaliadas por Zhu et al. (2018). No mosaico do tomateiro foram observadas diferenças máximas de temperatura variando de 0,2 a 1,7 °C. Já na ferrugem da folha do trigo as diferenças máximas de temperatura variaram de 0,4 a 2 °C. Para ambas os patossistemas houve aumento das temperaturas, sendo possível inferir a progressão da doença ao decorrer dos dias. A termografia possibilitou a detecção da infecção causada pelos patógenos CMV e *P. triticina* aos 5 e 7 dias, respectivamente, antes dos sintomas se tornarem aparentes.

Na sarna da macieira, causada por *Venturia inaequalis*, Oerke et al. (2011) observaram que o crescimento subcuticular do patógeno causou reduções localizadas na temperatura da folha antes do aparecimento dos sintomas. A termografia permitiu detectar de 1 a 3 dias antes dos sintomas visíveis de colonização pelos fungos, a modificação do status da água da planta. As informações termais mostraram diferenças na severidade da doença resultante

do estágio da doença, resistência do tecido do hospedeiro e diferenças na agressividade dos isolados de *V. inaequalis*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Germoplasma e condições experimentais

Um total de 192 genótipos de feijoeiro comum do Banco ativo de germoplasma (BAG) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro foram submetidos a um teste de germinação para determinar o seu vigor, velocidade de germinação e sanidade. Os genótipos que apresentaram mais de 75% de germinação, correspondendo a 62 genótipos, foram caracterizados quanto à reação ao crestamento bacteriano comum (CBC) (Tabela 2). Esses genótipos são variedades locais coletados no Estado do Rio de Janeiro (RJ), representando uma ampla variabilidade genética e foram caracterizados com base em descritores morfológicos e moleculares por Correa (2018) e Cavalcanti (2018). O genótipo BAC-6 foi utilizado como padrão de resistência ao CBC (Rodrigues et al., 1999).

Os genótipos foram cultivados em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), situada no *campus* da UENF, em Campos dos Goytacazes-RJ, em vasos de polietileno com capacidade para 5 litros contendo areia lavada e substrato (1:1) irrigados por gotejamento. Os ensaios foram conduzidos no primeiro e segundo semestre de 2019 e os testes de patogenicidade foram efetuados em maio/2019 e outubro/2019. As variações de temperatura máximas e mínimas registradas no interior da casa de vegetação durante os testes de patogenicidade são apresentadas na Figura 6.

Tabela 2. Identificação dos genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. quanto ao nome comum e local de coleta. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Nº	Imagem	Genótipo	Nome comum	Local de coleta
1		UENF 2263	Vermelho	Casimiro de Abreu
2		UENF 2290	Ouro negro	Porciúncula
3		UENF 2297	Preto Santa Catarina	Porciúncula
4		UENF 2299	Mistura	Porciúncula
5		UENF 2305	Verde	Porciúncula
6		UENF 2306	Verde	Porciúncula
7		UENF 2307	Pãina	Porciúncula
8		UENF 2308	Vermelho Campussal	Porciúncula
9		UENF 2575	Trepador	Porciúncula
10		UENF 2310	Preto Campusal	Porciúncula
11		UENF 2311	Rim de boi	Porciúncula
12		UENF 2312	Mistura	Porciúncula
13		UENF 2313	Mistura	Porciúncula

Tabela 2. Cont.





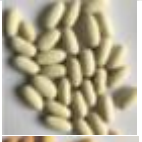







Nº	Imagem	Genótipo	Nome comum	Local de coleta
14		UENF 2316	Verde Camposal	Porciúncula
15		UENF 2320	Preto	Porciúncula
16		UENF 2323	Terrinha	Porciúncula Porciúncula
17		UENF 2324	Vermelho Campussal	Porciúncula
18		UENF 2326	Branco	Porciúncula
19		UENF 2327	Rosa	Porciúncula
20		UENF 2328	Rosinha	Porciúncula
21		UENF 2576	Preto Patusco	
22		UENF 2332	Amendoim	Porciúncula
23		UENF 2333	Verde	Porciúncula
24		UENF 2334	Paraná (ou Sta Catarina)	Varre-sai
25		UENF 2335	Amendoim	Varre-sai

Tabela 2. Cont.

Nº	Imagem	Genótipo	Nome comum	Local de coleta
26		UENF 2336	Sem nome	Varre-sai
27		UENF 2338	Amendoim	Varre-sai
28		UENF 2339	Preto (suposto Campeiro)	Varre-sai
29		UENF 2340	Verde	Varre-sai
30		UENF 2342	Preto Paraná	Varre-sai
31		UENF 2345	Paraná	Varre-sai
32		UENF 2346	Paraná	Varre-sai
33		UENF 2347	Rim de boi	Varre-sai
34		UENF 2348	Terrinha	Varre-sai
35		UENF 2349	Vermelho	Varre-sai
36		UENF 2351	Vermelho	Varre-sai
37		UENF 2353	Amarelinho	Varre-sai

Tabela 2. Cont.













Nº	Imagem	Genótipo	Nome comum	Local de coleta
38		UENF 2354	Paraná	Varre-sai
39		UENF 2357	Cornin- cornão	Varre-sai
40		UENF 2358	Amendoim	Varre-sai
41		UENF 2359	Amendoim	Varre-sai
42		UENF 2361	Paraná (vagem riscada)	Varre-sai
43		UENF 2363	Paraná (vagem branca)	Varre-sai
44		UENF 2364	Mistura	Varre-sai
45		UENF 2365	Mistura	Varre-sai
46		UENF 2371	Carioquinha	Varre-sai
47		UENF 2373	Paraná	Varre-sai
48		UENF 2374	Paraná	Varre-sai
49		UENF 2577	Mistura	Varre-sai

Tabela 2. Cont.

Nº	Imagem	Genótipo	Nome comum	Local de coleta
50		UENF 2376	Mistura	Varre-sai
51		UENF 2379	Mistura	Varre-sai
52		UENF 2383	Verde Camposal	Varre-sai
53		UENF 2387	Vermelho	Varre-sai
54		UENF 2578	Vermelho	Pádua
55		UENF 2579	Preto	Pádua
56		UENF 2580	Preto	Pádua
57		UENF 2391	Vermelho	Itaocara
58		UENF 2392	Preto	Itaocara
59		UENF 2396	Preto	Itaocara
60		UENF 2398	Preto	Italva
61		UENF 2406	Preto	Cambuci
62		BAC-6	Padrão de resistência	IAPAR

Fonte: Rodrigues et al. (1999) e Cavalcanti (2018).

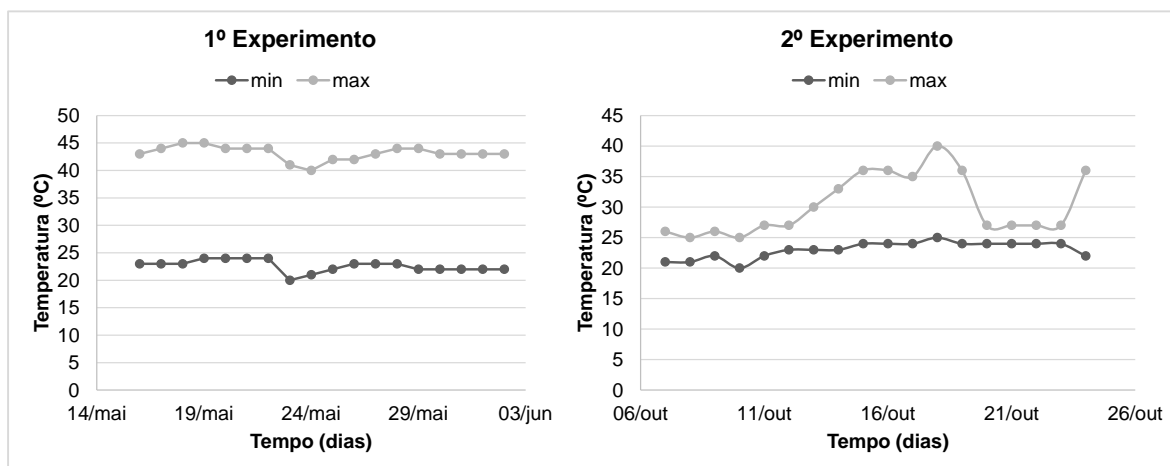


Figura 6. Temperaturas mínimas e máximas registradas dentro da casa de vegetação durante o período de avaliação do crestamento bacteriano comum em folhas de genótipos de feijoeiro em duas épocas do ano (experimento 1 - 14/05 a 03/06/2019; experimento 2 - 06 a 26/10/2019). UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2020.

A adubação foi realizada quando necessária, utilizando a solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950). A solução completa foi diluída para um litro água deionizada, conteúdo da solução estoque A: KNO_3 101,11g/L; B: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 236,16g/L; C: $\text{NH}_4 \text{H}_2 \text{PO}_4$ 115,03g/L; D: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 246,49g/L; N: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 10,84g/L; H_3BO_3 1,546g/L; O: P: $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,396; Q: ZnCl_2 0,273g/L; R: NaCl 2,922g/L; S: $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,085g/L; T: H_2MoO_4 0,081g/L. A solução completa para um litro deve conter A: 6mL; B: 4mL; C: 1mL; D: 2mL; N: 1mL; O: 1mL; P: 1mL; Q: 1mL; R: 1mL; S: 1mL; T: 1mL.

Os experimentos foram conduzidos sob o delineamento em blocos casualizados (DBC). Para o experimento com método de infiltração por agulha hipodérmica foram utilizadas três repetições com 62 genótipos (61 variedades locais e um padrão de resistência ao CBC, BAC-6), para o experimento pelo método de inoculação por corte com tesoura foram utilizados os mesmos genótipos com seis repetições, já para inoculações das vagens por punção com agulha entomológica, foram analisados 61 genótipos com seis repetições. Em ambos os ensaios, a severidade do CBC nas folhas foi estimada visualmente com base em escala de notas. A severidade do CBC em vagens foi quantificada apenas no primeiro ensaio pela análise de imagens digitais com o programa *ImageJ*, tendo como referência para classificação dos genótipos uma escala de severidade baseada no diâmetro da lesão. As avaliações por imagens termais e espectrometria

foliar foram realizadas apenas no primeiro ensaio, nas folhas inoculadas pelo método de infiltração. Maiores destalhes serão discutidos adiante.

4.2 Testes de patogenicidade

A inoculação em folhas foi realizada em estágio vegetativo V3-V4 após a semeadura. Para inoculação e análise da resistência ao CBC foi utilizado o isolado *Xap 139-y* de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, já testados em outros ensaios (Rodrigues, 2007; Trindade, 2010; Santos, 2013). O inóculo nas concentrações 10^6 UFC/mL⁻¹ e 10^7 UFC/mL⁻¹ foi utilizado para nas inoculações pelos métodos de infiltração com seringa e corte por tesoura, respectivamente.

O isolado *Xap 139-y* foi cultivado em meio de cultura sólido *Dextrose Yeast Glucose Sucrose* - DYGS (2g de glicose; 1,5g de Peptona; 2g de extrato de levedura; 0,5g de KH₂PO₄ · 7H₂O; 0,5g de MgSO₄ · 7H₂O; 1,5g ácido glutâmico; e 18g ágar, pH 7,0) em incubador BOD a 26 °C por 36 horas (Rodrigues Neto et al., 1986; Rodrigues et al., 1999; Souza et al., 2008; Trindade et al., 2015).

A suspensão de células bacterianas foi obtida pela adição de água deionizada autoclavada. A suspensão bacteriana na concentração de 10^7 UFC/mL⁻¹ foi ajustada em espectrofotômetro a 640 nm e 0,340 de absorbância. A suspensão na concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ foi obtida por meio da diluição em série em água deionizada autoclavada. Imediatamente após o preparo da suspensão, realizou-se a inoculação dos genótipos (Arnaud-Santana et al. 1994; Rodrigues et al., 1999; Ferreira et al., 2004; Trindade et al., 2015). Dois trifólios de cada planta, previamente identificados com fios de lã, foram inoculados, um pelo método de infiltração (10^6 UFC/mL⁻¹) (Figura 7A) e um inoculado pelo corte com tesoura (10^7 UFC/mL⁻¹) (Andrus, 1948). O controle negativo consistiu na inoculação de um terceiro e quarto trifólio de cada planta com água deionizada autoclavada, por infiltração e corte com tesoura, respectivamente.

A inoculação das vagens foi conduzida no primeiro ensaio conforme metodologia proposta por Schuster et al. (1983) e Zapata et al. (1985). As vagens do feijoeiro foram coletadas vinte dias após a antese, desinfestadas em álcool 70%, por 1 minuto, e hipoclorito de sódio a 0,2% por cinco minutos, e enxaguadas duas vezes em água deionizada autoclavada. Em seguida, as vagens foram secadas em papel autoclavado, fixadas em bandejas de isopor dentro de caixas plásticas

transparentes tampadas, ambas previamente desinfestadas. Em cada caixa foi mantido um copo de plástico de 50mL com algodão umedecido com água autoclavada com o objetivo de formar uma câmara úmida suficientemente favorável para o desenvolvimento da doença.

A inoculação foi realizada entre as sementes por meio da punção com uma agulha entomológica esterilizada e previamente umedecida em cultura bacteriana sólida pura (Figura 7B) em uma vagem de cada planta, totalizando seis vagens por genótipo. Para o controle negativo foram efetuados ferimentos entre as sementes de uma vagem por planta com a agulha entomológica esterilizada. As caixas de plástico foram fechadas e mantidas em bancadas do laboratório a 26°C, sob condições uniformes de iluminação proporcionadas por lâmpadas fluorescentes programadas para um fotoperíodo de doze horas.

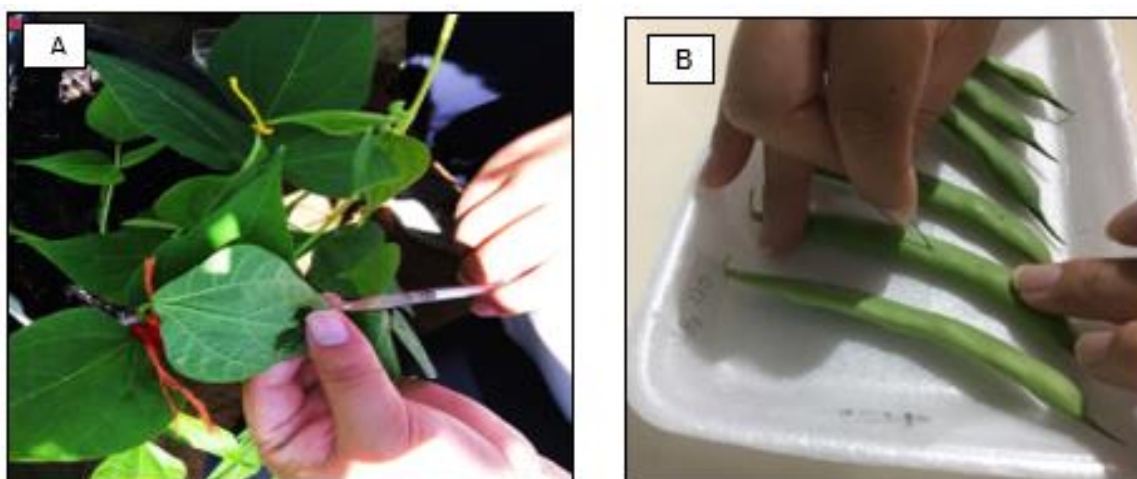


Figura 7. A. Inoculação por infiltração com seringa em folíolos de *Phaseolus vulgaris* L. a uma concentração de 10^7 UFC/mL⁻¹ de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. B. Método de inoculação com agulha entomológica com colônias bacterianas puras. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

4.3 Estimativas da severidade do CBC foliar e em vagens

Para a avaliação da reação dos genótipos ao CBC foliar foram realizadas avaliações visuais com escalas de notas de severidade diariamente durante 18 dias após a inoculação do patógeno para as folhas inoculadas pelo método de

inoculação por corte com tesoura. Já para as folhas inoculadas pelo método por infiltração com agulha hipodérmica, foram avaliadas durante seis dias. Para a severidade devida a inoculações pelo método de infiltração foi utilizada a escala de notas apresentada na Figura 8A e Tabela 3A. Para a severidade resultante do método de inoculação com corte por tesoura foi utilizada a escala de notas proposta por Pastor-Corrales (1981) apresentada na Figura 8B e Tabela 3B.

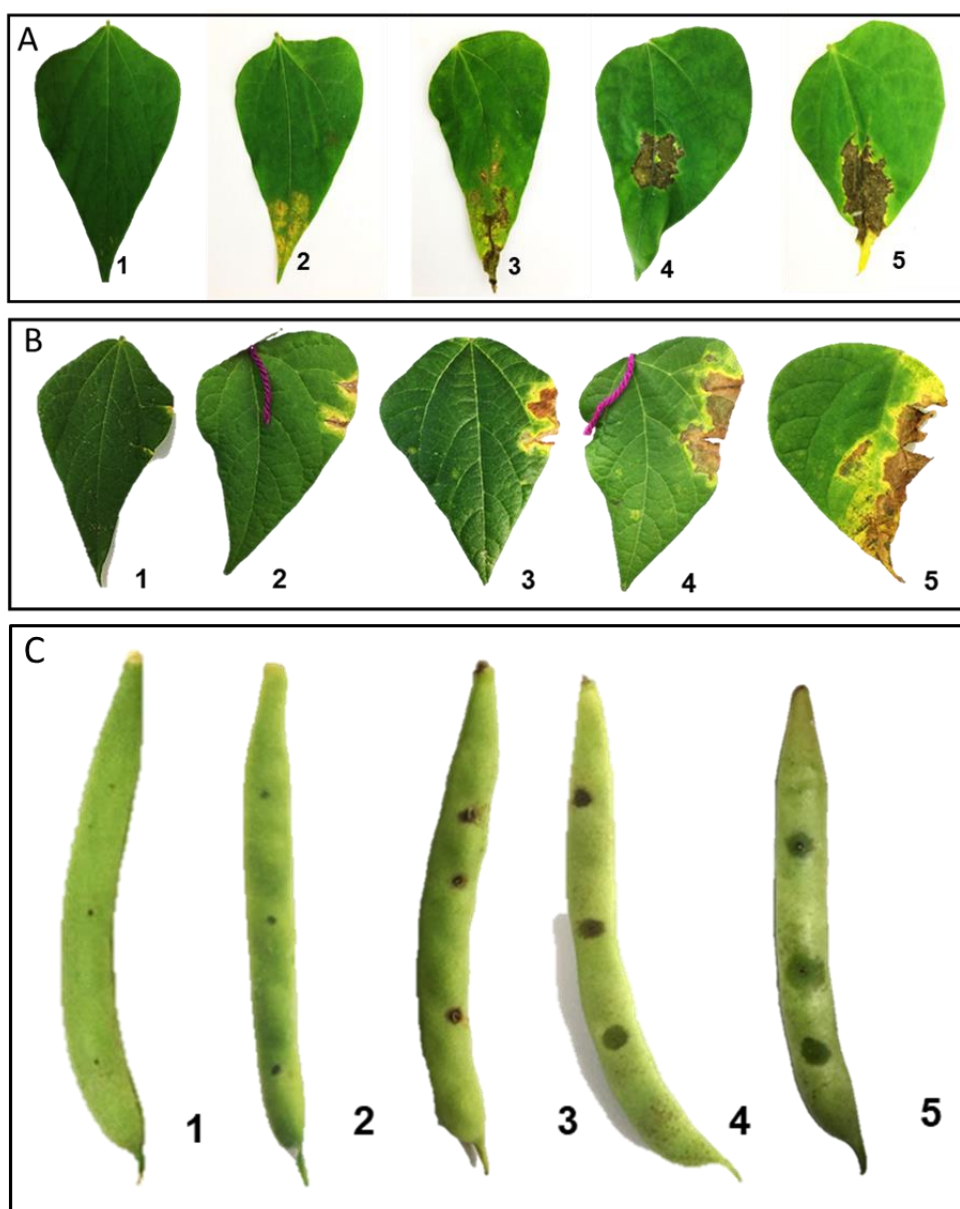


Figura 8. Escalas de notas para determinação do grau de severidade quanto à reação *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em folhas e vagens de feijoeiro inoculadas, respectivamente, pelos métodos de infiltração (A) e corte com tesoura (B) e por ferimento com agulha entomológica (C). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Tabela 3. Descrição das escalas de notas usadas para determinação da severidade do cretamento bacteriano comum causado por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em folhas e vagens de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas, respectivamente, pelos métodos de infiltração (A) e corte com tesoura (B) e por ferimento com agulha entomológica (C). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

A – Inoculação foliar pelo método de infiltração (10^6UFC/mL⁻¹)	
Nota - Fenótipo	Sintomas
1- Altamente resistente	Sem lesão aparente
2- Resistente	Presença de lesão clorótica
3- Moderadamente resistente	Presença de lesão clorótica com pontuações necróticas
4- Suscetível	Lesão necrótica com presença de halo clorótico
5- Altamente suscetível	Coalescimento das áreas necrótica com presença de halo clorótico
B – Inoculação foliar pelo método do corte com tesoura (10^7UFC/mL⁻¹)	
Nota - Fenótipo	Sintomas
1- Altamente resistente	Sem lesão aparente
2- Resistente	1 a 5% de necrose
3- Moderadamente resistente	6 a 25% de necrose
4- Suscetível	26 a 50% de necrose
5- Altamente suscetível	>50% de necrose
C – Inoculação de vagens por ferimento com agulha entomológica	
Grau de severidade	Sintomas
1 - Altamente resistente	<1mm
2 – Resistente	1 a 2 mm
3 - Moderadamente resistente	2 a 3 mm
4 – Suscetível	3 a 4 mm
5- Altamente suscetível	>4 mm

A severidade dos sintomas de CBC nas vagens foi estimada por meio de imagens digitais obtidas aos 8 dias após a inoculação. As imagens foram analisadas no programa *ImageJ*, mediante a aferição dos diâmetros

perpendiculares das lesões, expressos centímetros (cm), e tendo por base para a classificação dos genótipos a escala de severidade apresentada na Figura 8C e Tabela 3C.

Os escores obtidos pelas avaliações diárias da severidade da doença foram utilizados para a determinação do período de incubação (PI), o qual corresponde ao número de dias entre a inoculação do patógeno e o aparecimento dos sintomas, ou seja, é o dia em que a planta recebeu a primeira nota 2 (folhas) por ambas as escalas (Tabela 3A-B), e para cálculos da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), conforme a expressão de Shaner e Finley (1977) a seguir:

$$AACPD = \sum_{1}^{n-1} \left(\frac{x_i + x_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

n = o número de observações;

x_i = a severidade da doença na “i”-ésima observação;

t_i = o tempo em dias na “i”-ésima observação.

4.4 Determinação de índices de reflectância foliares

Os índices de reflectância foliares foram mensurados apenas no primeiro ensaio nas folhas jovens dos genótipos de feijoeiro, inoculadas por infiltração com a suspensão bacteriana de *Xap* na concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ e com água deionizada autoclavada, utilizando-se um mini espectrômetro foliar (*CID BIO-Science*, modelo CI-710-HB). As avaliações ocorreram durante seis dias consecutivos, iniciando com 24 horas após a inoculação (1 DAI). Um total de seis índices de reflectância (Tabela 4) foram obtidos, os quais são apresentados abaixo:

i. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ou índice de vegetação da diferença normalizada: é o contraste entre a absorção máxima no vermelho, devido a pigmentos de clorofila e a máxima reflexão no infravermelho próximo (Baret; Guyot, 1991). É utilizado na avaliação do vigor da vegetação, no monitoramento do dossel vegetativo de florestas, auxiliando na detecção de desmatamentos. Os valores dos índices variam de -1 a +1, em que quanto mais próximo do positivo a planta está mais vigorosa. Os valores médios entre 0,2 e 0,8 são considerados bons.

ii. Water Band Index (WBI) ou Índice da banda de água: usado para monitorar o estado da água no dossel da vegetação (Peñuelas et al., 1997). O WBI indica a concentração relativa da água na planta, em que valores na faixa de 0,8 a 1,2 indicam uma planta vigorosa.

iii. Greenness Index (G) ou Índice de verde (Smith et al., 1995): corresponde ao saldo total de clorofila na planta e não apresenta um valor fixo como parâmetro, quanto maiores são os valores mais vigorosa estará a planta.

iv. Anthocyanin Reflectance Index 2 (ARI 2) ou Índice de reflectância de antocianina 2: segue o mesmo princípio do ARI 1, no entanto, ele é modificado para ser menos dependente da espessura e densidade das folhas e seus valores variam de 0 a 0,2 sendo as médias consideradas ótimas entre 0,001 a 0,1 (Gitelson et al. 2001).

v. Structure Insensitive Pigment Index (SIPI) ou Índice pigmento estrutural independente: é usado em estudos dos pigmentos das folhas de vegetação de forma que à estrutura do mesófilo das folhas não interfere nos valores do índice. Os valores de referência para os pigmentos variam entre 0 a 2, sendo as médias ideais entre 0,8 e 1,8 (Peñuelas et al., 1995).

vi. Normalized Total Pigment to Chlorophyll Index (NPCI) ou índice de clorofila do pigmento total normalizado: quantifica todos os pigmentos de clorofila na folha nos comprimentos de onda entre 680 e 430 nm. Este índice não tem valores de referências, quanto maior o valor, mais vigorosa é a planta (Peñuelas et al. 1994).

Tabela 4. Índices de reflectância foliares mensurados para associação com a evolução da severidade dos sintomas do crestamento bacteriano comum foliar em feijoeiro e suas respectivas fórmulas e referências consultadas.

Índices ¹	Fórmula	Referência
NDVI	$(R800-R680) / (R800+R680)$	Baret; Guyot, 1991
WBI	$(R900/R970)$	Peñuelas et al., 1997
G	$R554 / R677$	Smith et al., 1995
ARI2	$R*((1/R550) - (1/R700))$	Gitelson et al. 2001
SIPI	$(R 800 - R445) / (R800 + R680)$	Peñuelas et al., 1995
NPCI	$(R680 - R430) / (R430 + R680)$	Peñuelas et al. 1994

¹ NDVI – Normalized Difference Vegetation Index; WBI – Water Band index; G – Greenness Index; ARI 2 - Anthocyanin Reflectance Index 2; SIPI - Structure Insensitive Pigment Index; NPCI - Normalized Total Pigment to Chlorophyll Index;

4.5 Imagem Termográfica Infravermelha

As imagens termais foram capturadas com 24, 48 e 72 horas após a inoculação (1, 2 e 3 DAI) apenas no primeiro ensaio. As folhas dos genótipos de feijoeiro inoculadas pelo método de infiltração com a suspensão bacteriana de *Xap* na concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ foram fotografadas com câmera termal *FLIR* (*Foward Looking Infra Red*) modelo T450sc. As imagens foram capturadas a uma distância de aproximadamente 30 cm das folhas, nos horários mais quentes do dia (11:30 -14:00 h) e sem presença de nuvens (Gomez, 2014).

As imagens termais foram analisadas pelo programa *FLIR Tools* (*FLIR Systems AB, Danderyd, Sweden*), empregando as paletas de cores *Rainbow* e *Rainbow HC* para ajustar a imagem térmica de forma a obter um contraste entre o tecido foliar adoecido e o tecido foliar saudável (Figura 9). As temperaturas médias foram obtidas no mesmo folíolo em dois pontos: i) área foliar inoculada e ii) área foliar não inoculada, demarcados com a ferramenta *Ellipse*, conforme ilustrado na Figura 10.

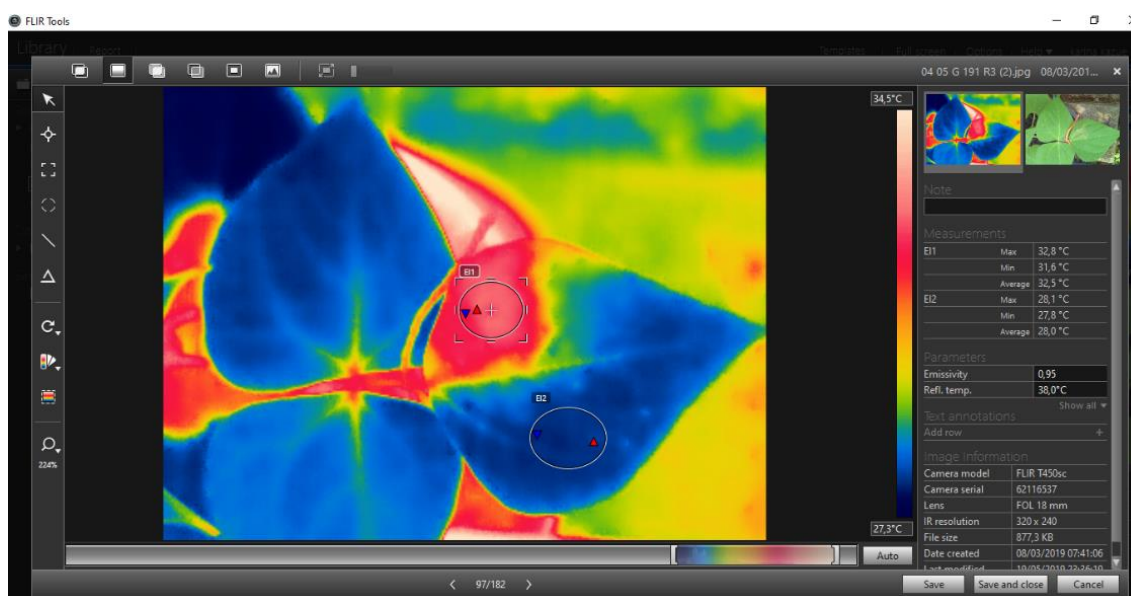


Figura 9. Interface do programa *FLIR Tools* e respectivas ferramentas de atalho usadas para o processamento e análise das imagens termais com pseudo-cores variando do azul (menores temperaturas, área foliar saudável) ao vermelho (maiores temperaturas, ponto de infecção não visível a olho nu). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

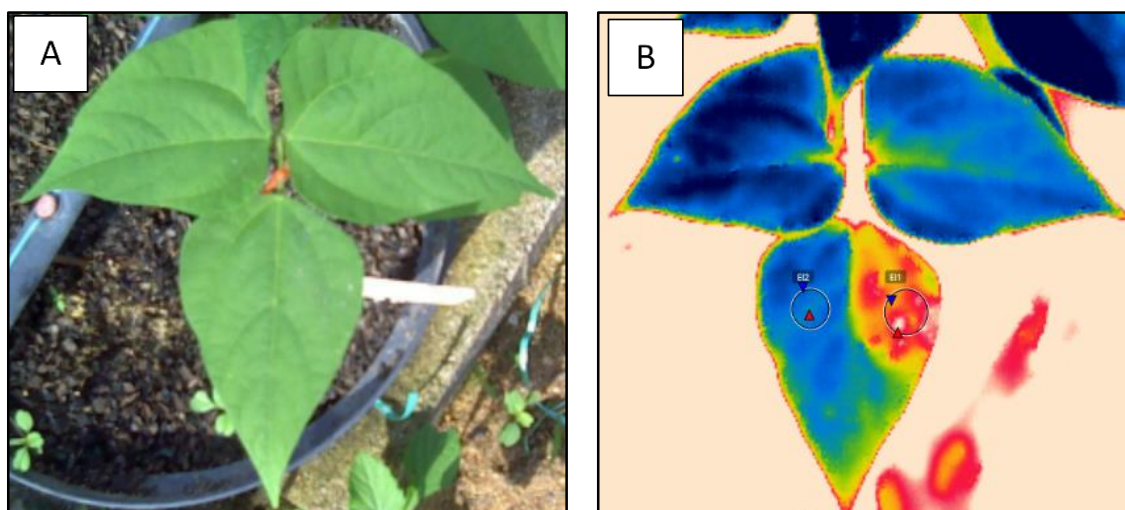


Figura 10. Caracterização precoce do desenvolvimento do crestamento bacteriano comum em folhas de feijoeiro inoculadas por infiltração com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* baseada em imagens infravermelhas. A) imagem de reflexão (RGB) e B) Imagem termal (pseudo-cores) com os pontos de mensuração (elipses) na área foliar com infecção não visível a olho nu (vermelho, maior temperatura) e área foliar saudável (azul, menor temperatura). UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

O diferencial de temperatura (ΔT) nas imagens termais foi calculado com base nos valores médios de temperaturas detectadas na área inoculada e área não inoculada do folíolo, conforme fórmula a seguir:

$$\Delta T = T_{Fi} - T_{Fn}$$

Onde:

T_{Fi} : Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) da área foliar inoculada com Xap;

T_{Fn} : Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) da área foliar não inoculada (controle).

4.6 Análise Estatística

Os dados obtidos para todas as variáveis foram submetidos a testes de normalidade e homocedasticidade de Hartley (1950) e Shapiro-Wilk (1965), respectivamente, para verificação do atendimento às pressuposições da análise de variância (ANOVA). Os dados foram submetidos a análises estatísticas paramétricas, conforme descrições a seguir.

4.6.1 Varáveis de severidade do CBC

Análises de correlação não paramétrica de Spearman (1904, 1927) foram realizadas para comparação entre as variáveis AACPD, PI e nota estimada para a severidade do CBC no último dia de avaliação (NF) nas folhas pelo dois métodos de inoculação/concentrações (infiltração - 10^6 UFC/mL⁻¹ e corte com tesoura - 10^7 UFC/mL⁻¹) conduzidos em duas épocas (E1 e E2) do ano e AACPD, PI e NF nas vagens inoculadas com cultura pura de *Xap*. A força das correlações foi interpretada como muito fraca ($0,00 \leq \rho \leq 0,19$), fraca ($0,20 \leq \rho \leq 0,39$), moderada ($0,40 \leq \rho \leq 0,69$), forte ($0,70 \leq \rho \leq 0,89$) e muito forte ($0,90 \leq \rho \leq 1,00$) (Devore, 2006).

As médias da severidade do CBC na vagem observadas nos genótipos foram agrupados pelo teste de Scott-Knott (1974).

4.6.2 Índices de reflectância foliares

Os índices de reflectância foliar observados nos 62 genótipos (fator A) inoculados por infiltração com *Xap* e com água deionizada estéril (fator B) e avaliados ao longo de seis dias após a inoculação (fator C) foram submetidos a análises de variância utilizando o modelo estatístico de parcela sub-subdividida:

$$Y_{ijkl} = \mu + Bl_l + A_i + (ABl_{il} = e_{il}) + B_j + AB_{ij} + (BBl_{jl} + ABBl_{ijl} = e_{jl}) + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + (CBL_{kl} + ACBL_{ikl} + BCBL_{jkl} + ABCBL_{ijkl} = e_{ijkl})$$

Onde:

μ = efeito da média geral

B_l = efeito do bloco (B), $l = 1, 2, \dots, r$

A_i = efeito do fator genótipos (A), $i = 1, \dots, a = 2$

B_j = efeito do fator inóculo (B), $j = 1, \dots, b = 2$

C_k = efeito do fator tempo (C), $k = 1, \dots, c = 2$

AB_{ij} = efeito da interação do i -ésimo nível de A com o j -ésimo nível de B

AC_{ij} = efeito da interação do i -ésimo nível de A com o k -ésimo nível de C

BC_{jk} = efeito da interação do j -ésimo nível de B com o K -ésimo nível de C

ABC_{ijk} = efeito da interação do i-ésimo nível de A com o j-ésimo nível de B e com o K-ésimo de nível de C

e_{ijk} = erro aleatório.

Para aplicação dos testes paramétricos $e_{ijkl} \sim NDI(0, \tau^2)$, no esquema fatorial propriamente dito.

Os valores médios dos índices de reflectância foliares foram comparados pelo teste da diferença mínima significativa (*least significant difference* - LSD). A associação entre os índices de reflectância foliares foram analisada pela correlação não paramétrica de Spearman (ρ).

4.6.3. Diferenciais de temperaturas

Os valores de diferencial de temperaturas observados ao longo de três dias (fator A) em 62 genótipos (fator B), inoculados por infiltração com Xap , foram analisados com base no modelo estatístico de sub-parcela:

$$Y_{ijkl} = \mu + Bl_k + A_i + eaik + B_j + AB_{ij} + eikj$$

Onde:

μ = efeito da média geral

Bl_k = efeito do bloco (k), $l = 1, 2, \dots, r$

A_i = efeito do fator Tempo (A), $i = 1, \dots, a = 2$

B_j = efeito do fator genótipo (B), $j = 1, \dots, b = 2$

AB_{ij} = efeito da interação do i-ésimo nível de A com o j-ésimo nível de B

e_{ijk} = erro aleatório.

Para aplicação dos testes paramétricos $e_{ijkl} \sim NDI(0, \tau^2)$, no esquema fatorial propriamente dito.

Posteriormente, as médias dos diferenciais de temperaturas dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974). As variáveis associadas a severidade do CBC foliar estimada visualmente por escalas de notas e DTM foram submetidas à análise de correlação de Spearman (ρ).

Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo R Studio. Foram utilizados os pacotes: agricolae, MASS, openxlsx e o Exp.Des.pt.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Severidade do CBC foliar no feijoeiro inoculado pelo método de corte com tesoura

As médias da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI) observados nos 62 genótipos de feijoeiro inoculados pelo método de corte com tesoura e avaliados em duas épocas do ano constam na Tabela 5. Nota-se que o genótipo BAC-6, padrão de resistência, apresentou os menores valores de AACPD nas duas épocas de avaliação, corroborando com as observações de Rodrigues et al. (1998) e Trindade et al. (2015). Todos os genótipos caracterizados apresentaram algum tipo de lesão com gravidade correspondente às notas variando de dois (resistente) a cinco (altamente suscetível). Não foram observados genótipos altamente resistentes (nota 1).

Os genótipos UENF 2335, UENF 2328 e UENF 2379, juntamente com o BAC-6, classificaram-se como resistentes ao crestamento bacteriano (CBC) nos dois ensaios conduzidos. No primeiro ensaio, 50% dos genótipos foram moderadamente resistentes, 40% foram suscetíveis e dois genótipos foram altamente suscetíveis. No segundo experimento, 9,68% dos genótipos foram resistentes ao CBC (UENF 2323, UENF 2335, UENF 2328, UENF 2379, UENF 2578 e BAC-6), 62,90% foram moderadamente resistentes, 25,81% foram suscetíveis e dois genótipos foram altamente suscetíveis. Os valores de AACPD observados nas duas avaliações dos genótipos resultaram numa correlação altamente significativa de magnitude moderada ($\rho=0,66$) (Figura 10).

Tabela 5. Valores da área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI) em genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *X. axonopodis* pv. *phaseoli*, na concentração de 10^7 UFC/mL⁻¹ por corte da folha com tesoura, avaliados durante 18 dias após a inoculação. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

1º Experimento 16/05/2019				2º Experimento 07/10/2019											
Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI	
UENF 2263	45,03	6,00	S	UENF 2346	44,83	6,70	S	UENF 2263	43,40	9,40	S	UENF 2346	44,10	8,20	S
UENF 2290	48,33	6,30	S	UENF 2347	55,00	5,70	AS	UENF 2290	39,30	9,20	S	UENF 2347	42,40	8,00	S
UENF 2297	35,00	7,00	MR	UENF 2348	50,83	5,00	S	UENF 2297	33,70	9,00	MR	UENF 2348	46,40	7,60	S
UENF 2299	39,67	6,70	MR	UENF 2349	55,00	5,00	AS	UENF 2299	32,90	9,80	MR	UENF 2349	46,80	7,80	AS
UENF 2305	42,00	6,70	MR	UENF 2351	33,33	6,70	MR	UENF 2305	34,50	10,00	MR	UENF 2351	32,60	10,80	MR
UENF 2306	47,67	5,30	S	UENF 2353	39,83	5,70	MR	UENF 2306	44,70	7,60	S	UENF 2353	35,50	9,60	MR
UENF 2307	43,75	5,50	S	UENF 2354	48,83	6,00	S	UENF 2307	30,70	10,20	MR	UENF 2354	38,10	9,00	MR
UENF 2308	38,33	6,70	MR	UENF 2357	36,67	6,00	MR	UENF 2308	33,60	9,40	MR	UENF 2357	35,10	8,80	MR
UENF 2575	51,83	5,30	S	UENF 2358	45,67	4,70	S	UENF 2575	42,60	7,60	S	UENF 2358	34,20	10,00	MR
UENF 2310	52,33	6,00	S	UENF 2359	34,67	7,70	MR	UENF 2310	43,20	8,40	S	UENF 2359	36,20	9,40	MR
UENF 2311	50,11	6,00	S	UENF 2361	31,09	10,00	MR	UENF 2311	42,60	8,00	S	UENF 2361	35,90	10,00	MR
UENF 2312	44,67	5,70	S	UENF 2363	45,33	6,00	S	UENF 2312	40,50	8,80	S	UENF 2363	40,20	8,60	S
UENF 2313	48,00	5,70	S	UENF 2364	39,67	5,70	MR	UENF 2313	39,60	8,20	S	UENF 2364	40,20	10,00	S
UENF 2316	39,17	7,70	MR	UENF 2365	49,17	5,00	S	UENF 2316	37,70	9,60	MR	UENF 2365	31,90	9,40	MR
UENF 2320	43,17	6,00	S	UENF 2371	39,18	6,00	MR	UENF 2320	33,80	8,80	MR	UENF 2371	37,70	8,20	MR
UENF 2323	46,17	6,00	S	UENF 2373	46,67	5,00	S	UENF 2323	29,50	10,40	R	UENF 2373	35,20	10,40	MR
UENF 2324	45,33	7,30	S	UENF 2374	37,17	6,30	MR	UENF 2324	38,10	8,20	MR	UENF 2374	38,10	8,40	MR
UENF 2326	42,17	6,00	MR	UENF 2577	52,33	5,00	S	UENF 2326	36,90	8,40	MR	UENF 2577	38,40	9,40	MR
UENF 2327	53,50	5,30	S	UENF 2376	41,00	7,00	MR	UENF 2327	34,60	10,20	MR	UENF 2376	38,50	9,40	MR
UENF 2328	29,33	7,30	R	UENF 2379	31,05	8,00	R	UENF 2328	29,40	10,60	R	UENF 2379	30,30	9,80	R
UENF 2576	45,50	5,00	S	UENF 2383	44,83	8,70	S	UENF 2576	37,30	8,40	MR	UENF 2383	35,50	9,80	MR
UENF 2332	34,17	5,30	MR	UENF 2387	43,00	5,00	S	UENF 2332	32,60	9,20	MR	UENF 2387	33,90	9,00	MR
UENF 2333	38,50	6,30	MR	UENF 2578	35,17	6,70	MR	UENF 2333	30,80	10,80	MR	UENF 2578	30,20	12,20	MR
UENF 2334	40,67	5,70	MR	UENF 2579	32,50	6,00	MR	UENF 2334	33,20	11,00	MR	UENF 2579	25,50	10,20	R
UENF 2335	30,00	4,00	R	UENF 2580	30,51	8,00	MR	UENF 2335	29,50	10,80	R	UENF 2580	30,60	13,40	MR
UENF 2336	41,83	7,30	MR	UENF 2391	43,67	7,30	S	UENF 2336	39,30	8,20	S	UENF 2391	42,00	7,80	S
UENF 2338	48,67	5,70	S	UENF 2392	40,00	7,00	MR	UENF 2338	36,10	9,80	MR	UENF 2392	32,10	10,20	MR
UENF 2339	40,50	5,70	MR	UENF 2396	33,17	7,70	MR	UENF 2339	38,20	8,40	MR	UENF 2396	30,90	12,00	MR
UENF 2340	31,67	12,00	MR	UENF 2398	38,83	5,00	MR	UENF 2340	31,30	10,80	MR	UENF 2398	33,30	9,60	MR
UENF 2342	39,50	10,30	MR	UENF 2406	37,67	6,30	MR	UENF 2342	38,60	8,60	MR	UENF 2406	34,70	9,20	MR
UENF 2345	34,33	7,00	MR	BAC-6	18,83	17,00	R	UENF 2345	41,60	8,80	S	BAC-6	24,10	12,20	R

AR: Altamente resistente; R: Resistente; MR: Moderadamente resistente; S: Suscetível; AS: Altamente suscetível. AACPD: área abaixo da curva do progresso da doença; PI: período de incubação.

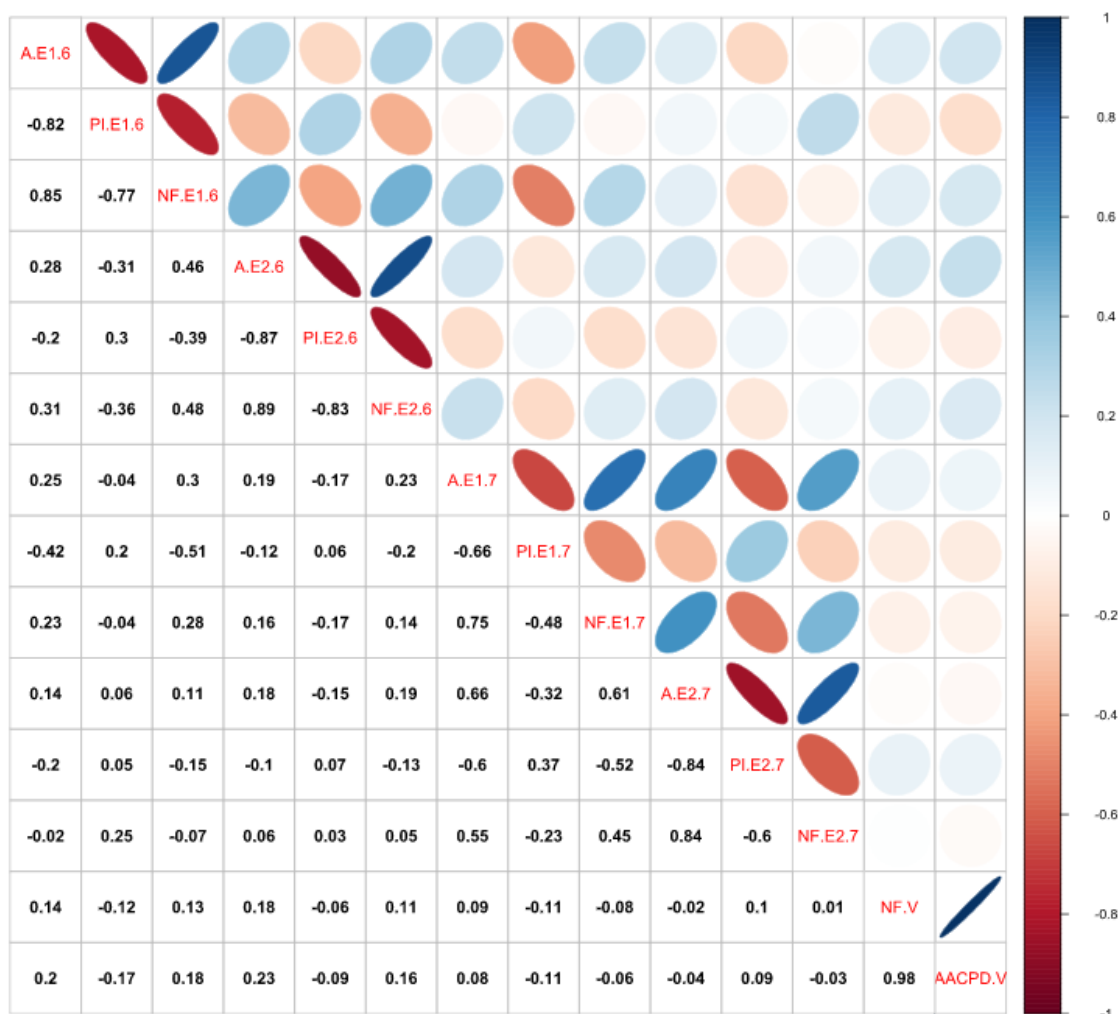


Figura 11. Correlação de Spearman (ρ) entre as variáveis AACPD, PI, NF nas folhas nas concentrações 10^6 UFC/mL⁻¹ e 10^7 UFC/mL⁻¹ conduzidos em dois períodos e AACPD, PI, NF nas vagens inoculadas com cultura pura de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

A= AACPD; E1= Experimento 1; E2= Experimento 2; 6= Inoculação por infiltração por seringa na concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ com XAP 139-y; 7= Inoculação com tesoura na concentração de 10^7 UFC/mL⁻¹ com XAP 139-y; PI= período de Incubação; NF= nota final realizada no último dia de avaliação na folha; NF.V= nota final realizada no último dia referente a vagem; AACPD.V= Inoculação por agulha entomológica em isolado de XAP 139-y.

5.2 Severidade do CBC foliar no feijoeiro inoculado pelo método de infiltração

As médias da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI) observados nos 62 genótipos de feijoeiro inoculados pelo método de infiltração e avaliados em duas épocas do ano constam na Tabela 6. Na primeira avaliação foram observados 16,39% genótipos resistentes, sendo eles BAC-6, UENF 2316, UENF 2328, UENF 2305, UENF 2335, UENF 2340, UENF

2351, UENF 2379, UENF 2383 e UENF 2387. O genótipo UENF 2351 apresentou menor AACPD (7,67) e maior PI (4,7 dias) em comparação com o BAC-6, padrão de resistência, o qual apresentou AACPD correspondente a 8,5 e PI de três dias. A distribuição dos genótipos observadas nas demais classes de severidade foram 59,02% moderadamente resistentes, 22,95% suscetíveis e 1,64% altamente suscetíveis.

Na segunda avaliação, os génotipos BAC-6, UENF 2305, UENF 2316, UENF 2328, UENF 2333, UENF 2335, UENF 2351, UENF 2376, UENF 2379, UENF 2387 e UENF 2398 apresentaram-se resistentes ao CBC e nas demais classes fenotípicas foram observados 47,54% génotipos moderadamente resistentes, 32,79% suscetíveis e 1,64% altamente suscetíveis. Durante a condução do segundo experimento, as condições climáticas foram caracterizadas por dias muito chuvosos e temperaturas mais amenas que no primeiro experimento. Tais variações podem explicar a variação na gravidade do CBC observada nos ensaios das duas estações, sendo a condições climáticas no primeiro mais favoráveis ao desenvolvimento do patógeno e no segundo menos favoráveis, contribuindo para um retardo na multiplicação das bactérias que resultou num maior período de incubação, demorando até 10 dias para ocorrerem os primeiros sintomas, e menor amplitude de variação da AACPD entre os génotipos estudados.

Alta correlação entre as variáveis de AACPD, PI e nota estimada para severidade no último dia de avaliação (NF) foi observada para o método de inoculação por infiltração dentro das duas épocas de avaliação, enquanto no método de inoculação pelo corte com tesoura observaram correções variando de moderadas a altas (Figura 11). Fortes correlações negativas entre AACPD e PI foram detectadas, o que já era esperado dado a natureza destas variáveis, quanto mais rápido é o PI, mais rápida é a evolução da doença e, portanto, maior será a AACPD. Já AACPD e NF apresentaram forte correlação positiva, o que também já era esperado, uma vez que a AACPD é calculada com base nas notas estimadas para a severidade observada ao longo dos dias de avaliação da doença. Quanto maior a AACPD, maior é a severidade e, logo, maior a nota final atribuída. Por outro lado, quanto mais tardio for o período de incubação, menor será a nota no último dia de avaliação (Figura 11).

Tabela 6. Médias da área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e período de incubação (PI em dias) observadas em genótipos de *P. vulgaris* L. inoculados por infiltração com *X. axonopodis* pv. *phaseoli* (10^6 UFC/mL⁻¹) e avaliados diariamente durante seis dias após inoculação em duas épocas do ano. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

1º Experimento 16/05/2019							2º Experimento 07/10/2019								
Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI		Genótipo	AACPD	PI	
UENF 2290	14,50	2,33	MR	UENF 2347	13,33	3,00	MR	UENF 2290	17,00	13,20	S	UENF 2347	15,10	12,20	S
UENF 2297	13,51	2,67	MR	UENF 2348	17,00	2,00	S	UENF 2297	14,20	14,00	MR	UENF 2348	14,30	13,00	S
UENF 2299	13,56	2,67	MR	UENF 2349	14,17	2,67	MR	UENF 2299	12,20	14,40	MR	UENF 2349	13,60	12,80	MR
UENF 2305	10,67	4,00	R	UENF 2351	7,67	4,67	R	UENF 2305	11,00	15,20	R	UENF 2351	10,40	15,80	R
UENF 2306	13,83	2,00	MR	UENF 2353	12,67	2,33	MR	UENF 2306	12,80	12,60	MR	UENF 2353	14,60	13,40	S
UENF 2307	15,01	2,33	S	UENF 2354	14,83	2,00	MR	UENF 2307	13,00	13,40	MR	UENF 2354	14,60	13,20	S
UENF 2308	15,67	2,00	S	UENF 2357	12,00	2,00	MR	UENF 2308	13,80	13,00	MR	UENF 2357	11,20	15,40	MR
UENF 2575	18,50	2,00	AS	UENF 2358	15,17	2,33	S	UENF 2575	16,00	13,00	S	UENF 2358	11,10	14,60	MR
UENF 2310	14,33	2,67	MR	UENF 2359	16,17	2,00	S	UENF 2310	13,50	14,00	MR	UENF 2359	13,60	13,80	MR
UENF 2311	12,67	2,67	MR	UENF 2361	13,50	2,33	MR	UENF 2311	15,60	12,80	S	UENF 2361	13,60	13,80	MR
UENF 2312	14,17	2,33	MR	UENF 2363	13,17	2,67	MR	UENF 2312	15,60	12,40	S	UENF 2363	15,30	13,20	S
UENF 2313	15,67	2,00	S	UENF 2364	14,50	2,33	MR	UENF 2313	15,00	13,60	S	UENF 2364	15,80	12,80	S
UENF 2316	10,01	3,67	R	UENF 2365	13,50	2,33	MR	UENF 2316	8,00	16,60	R	UENF 2365	14,80	12,60	S
UENF 2320	16,33	2,00	S	UENF 2371	11,50	2,67	MR	UENF 2320	15,50	12,80	S	UENF 2371	12,50	14,20	MR
UENF 2323	14,67	2,00	MR	UENF 2373	15,67	2,00	S	UENF 2323	14,00	13,40	MR	UENF 2373	15,90	13,40	S
UENF 2324	13,01	2,33	MR	UENF 2374	15,50	2,00	S	UENF 2324	13,20	13,00	MR	UENF 2374	13,00	14,00	MR
UENF 2326	13,33	2,67	MR	UENF 2577	15,17	2,00	S	UENF 2326	11,50	14,60	MR	UENF 2577	14,40	13,60	S
UENF 2327	13,67	2,00	MR	UENF 2376	14,67	2,00	MR	UENF 2327	11,60	14,20	MR	UENF 2376	9,90	16,60	R
UENF 2328	10,89	2,67	R	UENF 2379	11,01	2,67	R	UENF 2328	9,90	16,20	R	UENF 2379	10,20	14,20	R
UENF 2576	13,00	2,67	MR	UENF 2383	9,33	3,67	R	UENF 2576	13,80	14,00	MR	UENF 2383	11,30	14,60	MR
UENF 2332	13,67	2,67	MR	UENF 2387	10,50	4,00	R	UENF 2332	12,20	14,20	MR	UENF 2387	8,90	16,60	R
UENF 2333	12,00	3,00	MR	UENF 2578	13,50	2,67	MR	UENF 2333	9,90	16,60	R	UENF 2576	13,90	13,80	MR
UENF 2334	14,33	2,33	MR	UENF 2579	15,00	2,00	S	UENF 2334	14,90	12,80	S	UENF 2578	15,60	12,80	S
UENF 2335	10,93	2,33	R	UENF 2580	15,33	2,00	S	UENF 2335	10,90	15,60	R	UENF 2579	13,10	13,60	MR
UENF 2336	12,83	2,33	MR	UENF 2391	12,33	3,67	MR	UENF 2336	12,20	14,60	MR	UENF 2391	13,20	16,60	MR
UENF 2338	13,17	2,67	MR	UENF 2392	13,17	2,33	MR	UENF 2338	11,40	14,20	MR	UENF 2392	13,30	13,40	MR
UENF 2339	12,83	2,33	MR	UENF 2396	13,67	2,00	MR	UENF 2339	12,60	14,60	MR	UENF 2396	17,30	12,20	AS
UENF 2340	10,83	3,00	R	UENF 2398	14,50	2,33	MR	UENF 2340	12,60	14,00	MR	UENF 2398	9,00	15,60	R
UENF 2342	11,67	3,00	MR	UENF 2406	15,00	2,33	S	UENF 2342	14,40	12,80	S	UENF 2406	13,60	13,20	MR
UENF 2345	16,00	2,00	S	BAC-6	8,50	3,00	R	UENF 2345	15,40	13,00	S	BAC-6	10,00	14,80	R
UENF 2346	11,33	2,67	MR					UENF 2346	15,60	12,00	S				

AR: Altamente resistente; R: Resistente; MR: Moderadamente resistente; S: Suscetível; AS: Altamente suscetível. AACPD: área abaixo da curva do progresso da doença; PI: período de incubação.

Resultados similares foram encontrados por Halfeld-Vieira (2011) que verificou a reação da mancha-bacteriana causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *vignicola* em 10 cultivares de feijão-caupi e avaliou o período de incubação e severidade da doença aos 12, 18, 22, 27 e 29 dias após a inoculação e identificou que os genótipos mais resistentes apresentavam um AACPD menor conforme o período de incubação fosse maior, da mesma forma, quanto menor a nota final maior foi o PI e por fim quanto menor a AACPD menor a nota final.

Krause et al. (2009) conduziu dois experimentos com o objetivo de identificar fontes de resistência de feijão de vagem para *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*. Os autores observaram que a severidade da murcha de *Curtobacterium* no segundo experimento foi inferior em relação ao primeiro experimento devido a reduções de temperaturas. No primeiro experimento a temperatura máxima variou entre 21 e 30°C e a mínima entre 12 e 18°C, já durante a condução do segundo experimento a amplitude de variação máxima e mínima foi menor.

5.3 Severidade do CBC em vagens de feijoeiro

Na Tabela 7 é apresentado o resumo da análise de variância para a severidade do CBC em vagens baseada no diâmetro da lesão. Verificou-se pelo teste F, que houve diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade entre os genótipos. O valor observado para o coeficiente de variação foi considerado adequado para a variável em questão, indicando boa precisão experimental.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para o diâmetro da lesão (DL em cm) em vagem em feijoeiro comum causada pela infecção por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Genótipos	60	0,163497*
Bloco	5	0,016100
Resíduo	234	0,020175
Total	299	
Média		0,33
Coeficiente de variação (%)		13,79

*Significativo a 5% pelo teste de F, **Significativo a 1% pelo teste de F, ***Significativo a 0,1% pelo teste de F.

As médias do DL aos oito dias após a inoculação dos genótipos formaram quatro *clusters* pelo agrupamento de teste de Scott-Knott (Tabela 8). O grupo A, altamente suscetível, foi composto por oito genótipos os quais apresentaram DL variando de 0,433-0,532 cm. O grupo B, suscetível, incluiu 20 genótipos com DL variando de 0,332-0,412 cm. O grupo C, moderadamente suscetível, incluiu 25 genótipos com DL entre 0,25-0,33 cm. E o grupo D, moderadamente resistente, apresentou oito genótipos com DL variando de 0,166-0,239 cm.

Os genótipos UENF 2312, UENF 2376, UENF 2383, UENF 2316, UENF 2308, UENF 2324, UENF 2335, UENF 2346 apresentaram os menores valores de severidade do CBC nas vagens. Os genótipos UENF 2348, UENF 2320, UENF 2306, UENF 2313, UENF 2363, UENF2290, UENF 2379 apresentaram maiores níveis de suscetibilidade ao CBC nas vagens. Nota-se que o genótipo BAC-6, resistente ao CBC foliar, foi classificado como moderadamente suscetível ao CBC na vagem.

Todos os genótipos apresentaram lesões nas vagens, ocorrendo nos genótipos UENF 2335 e UENF 2346 as menores lesões, cujos diâmetros médios foram inferiores a dois milímetros. O genótipo UENF 2335 também apresentou bom nível de resistência ao CBC nas folhas e, deste modo, é um potencial genitor para programas de melhoramento genético do feijoeiro visando a resistência ao CBC.

Alta correlação positiva entre a AACPD e nota final atribuída no último dia para a severidade do CBC em vagens foi observada (Figura 11). Por outro lado, não houve correlação entre a severidade do CBC nas folhas e a severidade do CBC nas vagens. Tais resultados podem estar associados ao controle genético da resistência, em que diferentes genes atuam no controle da resistência ao CBC nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta (folhas) e na fase final/reprodutiva da planta (vagens). Os resultados observados neste trabalho corroboram com a hipótese de que os genes de resistência ao CBB nas folhas são diferentes daqueles que controlam a resistência CBB em vagens (Arnaud-Santana et al. 1994, Rodrigues et al. 1999, Santos et al. 2003).

Tabela 8. Agrupamento de 61 genótipos de feijoeiro baseado na severidade média do crestamento bacteriano comum estimado em vagens aos oito dias após a inoculação, determinadas em centímetros, com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Genótipo	DL		Genótipo	DL	
UENF 2348	0,5320	A	UENF 2364	0,3173	c
UENF 2320	0,5176	A	UENF 2358	0,3181	c
UENF 2306	0,4933	A	UENF 2576	0,3101	c
UENF 2373	0,4830	A	UENF 2579	0,3062	c
UENF 2313	0,4783	A	UENF 2340	0,2972	c
UENF 2363	0,4442	A	UENF 2349	0,3063	c
UENF 2290	0,4327	A	UENF 2327	0,2908	c
UENF 2379	0,4330	A	UENF 2420	0,2947	c
UENF 2353	0,4116	B	UENF 2328	0,2916	c
UENF 2577	0,4088	B	UENF 2310	0,2869	c
UENF 2357	0,3988	B	UENF 2301	0,2861	c
UENF 2336	0,3934	B	UENF 2406	0,2803	c
UENF 2578	0,3888	B	UENF 2359	0,2776	c
UENF 2339	0,3908	B	UENF 2307	0,2783	c
UENF 2575	0,3850	B	UENF 2334	0,2659	c
UENF 2311	0,3779	B	BAC-6	0,2653	c
UENF 2297	0,3780	B	UENF 2338	0,2657	c
UENF 2342	0,3756	b	UENF 2326	0,2567	c
UENF 2347	0,3693	B	UENF 2305	0,2546	c
UENF 2365	0,3630	b	UENF 2345	0,2539	c
UENF 2374	0,3603	b	UENF 2351	0,2527	c
UENF 2387	0,3606	b	UENF 2333	0,2499	c
UENF 2354	0,3558	b	UENF 2312	0,2384	d
UENF 2396	0,3586	b	UENF 2376	0,2391	d
UENF 2323	0,3516	b	UENF 2383	0,2372	d
UENF 2580	0,3442	b	UENF 2316	0,2224	d
UENF 2391	0,3440	b	UENF 2308	0,2173	d
UENF 2392	0,3321	b	UENF 2324	0,2015	d
UENF 2361	0,3241	C	UENF 2335	0,1946	d
UENF 2332	0,3296	C	UENF 2346	0,1661	d
UENF 2398	0,3289	C			

Médias com mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott - Knott a 5% DL: diâmetro médio da lesão em centímetros.

5.4 Efeitos da infecção de *Xap* nos índices de reflectância foliar de genótipos de feijoeiro

Na Tabela 9 é apresentado o resumo da análise de variância para as variáveis índice de reflectância de antocianina 2 (ARI2), índice da banda de água (WBI), índice de verde (G), índice pigmentos insensíveis a estrutura (SIPI), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e índice de pigmento total normalizado para o índice de clorofila (NPCI). Verificou-se pelo teste F diferenças significativas ao nível de 0,1% de probabilidade para tipo de inoculação (inóculo e água) e tempo de avaliação (dias após inoculação) dos genótipos para todos os índices de reflectância foliar. Para a fonte de variação genótipos, não foram detectadas diferenças significativas pelo teste F. A ausência de diferenças significativas entre os genótipos (variedades locais) sugere que estes apresentaram padrões fisiológicos semelhantes e que índices espectrais apresentaram variações mínimas entre eles.

Houve diferenças altamente significativas pelo teste F para a interação tipo de inoculação x tempo de avaliação nos índices G, ARI2, SIPI, NDVI e NPCI. Já para o desdobramento genótipo x tipo de inoculação não houve diferença significativa. Nas tabelas 10 e 11 são mostrados os resultados para as comparações entre as médias dos níveis tempo de avaliação (dias após inoculação) e tipo de inoculação (inóculo e água), respectivamente, pelo teste da diferença mínima significativa (LSD).

As variedades locais têm sido cultivadas por agricultores familiares em diversas localidades do Brasil. Essas variedades foram formadas pela ação de agricultores familiares ou indígenas, por meio de um processo de melhoramento empírico, com a seleção de plantas mais adaptadas às regiões em que foram desenvolvidas (Paterniani et al., 2000). Há uma discussão muito forte quanto à rusticidade, resistência às doenças, tolerância a pragas e a eficiência no uso de nutrientes das variedades locais. Essas variedades são visadas com potencial de fontes de genes em programas de melhoramento (Fidelis et al., 2007).

Tabela 9. Resumo da ANOVA para seis índices de reflectância foliar observados nos 62 genótipos (A) de *Phaseolus vulgaris* L. inoculados por infiltração com suspensão bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) e com água deionizada estéril (B) e avaliados diariamente por seis dias após a inoculação (C). UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio					
		WBI	G	ARI2	SIPI	NDVI	NPCI
Genótipo (A)	61	0,002900	0,208000	0,002430	0,005800	0,010800	0,002980
Erro a	94	0,002600	0,229000	0,003000	0,005300	0,009900	0,003360
Tipo de inoculação (B)	1	5,381400***	81,061000***	0,687340***	6,008100***	10,962900***	2,001030***
AB	61	0,003800	0,133000	0,001940	0,005700	0,010200	0,002220
Erro b	96	0,004200	0,164000	0,001530	0,007300	0,013600	0,003000
Tempo (C)	5	0,192700***	11,223000***	0,056200***	0,387500***	0,852000***	0,449010***
AC	305	0,002200	0,090000	0,001330	0,004100	0,007500	0,001670
BC	5	0,491900	12,912000***	0,065020***	0,512200***	1,009600***	0,225460***
ABC	305	0,002100***	0,078000	0,001180	0,004500	0,008300	0,001770
Erro c	960	0,002400	0,079000	0,001290	0,004200	0,007500	0,001680
CV (%) a		6,7	23	19,4	10,3	15,2	26
CV (%) b		8,5	19,5	13,8	12,1	17,9	24,6
CV (%) c		6,5	13,5	12,7	9,2	0,7	18,4
Média geral		0,758906	2,078699	0,282538	0,705681	0,651982	0,222661

*Significativo a 5% pelo teste de F, **Significativo a 1% pelo teste de F, ***Significativo a 0,1% pelo teste de F.

CV%: Coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade; ARI2-índice de reflectância de antocianina 2; WBI-índice da banda de água; G-índice de verde; SIPI-índice pigmentos insensíveis a estrutura; NDVI-índice de vegetação por diferença normalizada; NPCI-índice de pigmento total normalizado para o índice de clorofila.

Tabela 10. Comparação entre as médias dos seis índices de reflectância foliar obtidos em seis dias de avaliação de 62 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. inoculadas com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* a uma concentração de 10^6 UFC/mL⁻¹ e com água deionizada estéril. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Tempo	NDVI		G		WBI		ARI2		NPCI		SIPI	
1	0,7180	a	2,3314	a	0,7874	a	0,2952	a	0,2631	a	0,7542	a
2	0,6995	b	2,2386	b	0,7803	a	0,2909	a	0,2597	a	0,7354	b
3	0,6663	c	2,1310	c	0,7654	b	0,2901	ab	0,2418	b	0,7104	c
4	0,6191	d	1,9506	d	0,7573	c	0,2831	bc	0,1996	c	0,6873	d
5	0,6142	d	1,9290	e	0,7362	d	0,2758	c	0,1895	d	0,6786	e
6	0,5948	e	1,8915	f	0,7269	e	0,2602	d	0,1821	d	0,6683	f

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

ARI2-índice de reflectância de antocianina 2; WBI-índice da banda de água; G-índice de verde; SIPI-índice pigmentos insensíveis a estrutura; NDVI-índice de vegetação por diferença normalizada; NPCI-índice de pigmento total normalizado para o índice de clorofila.

Tabela 11. Comparação entre as médias dos índices de reflectância foliar observados para dois tipos de inoculação, suspensão de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (10^6 UFC/mL⁻¹) e água deionizada estéril, em 62 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. avaliados diariamente por seis dias após a inoculação. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Tipo de inoculação	NDVI		G		WBI		ARI2		NPCI		SIPI	
Água deionizada estéril	0,7255	a	2,2786	a	0,8104	a	0,3009	a	0,2541	a	0,7601	a
Suspensão Xap - 10^6 UFC/mL ⁻¹	0,5785	b	1,8788	b	0,7074	b	0,2641	b	0,1912	b	0,6513	b

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Controle: inoculada com água deionizada. Xap 10^6 UFC/mL⁻¹: Inoculada com isolado de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*.

ARI2-índice de reflectância de antocianina 2; WBI-índice da banda de água; G-índice de verde; SIPI-índice pigmentos insensíveis a estrutura; NDVI-índice de vegetação por diferença normalizada; NPCI-índice de pigmento total normalizado para o índice de clorofila.

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI

Para o índice de NDVI foi observado diferenças significativas para os tratamentos no segundo dia após a inoculação (Tabela 10), observando-se uma redução no índice de massa verde nas plantas inoculadas com a suspensão de *Xap* em contraste com o controle negativo (água deionizada autoclavada) (Tabela 11). A infecção do patógeno na folha causa a destruição da célula e da lamela média, resultando morte celular na região afetada (Jacques et al., 2005). Os valores de NDVI variam entre -1 a +1 e valores positivos próximos a unidade indicam que as plantas estão mais vigorosas. Os valores médios entre 0,2 a 0,8 são considerados bons (Baret e Guyot, 1991). Nota-se na Tabela 10 que os valores do NDVI variam de 0,7252 (1DAI) para 0,5785 (6DAI) à medida que a doença evolui ao longo dos dias.

Hikishima et al. (2008) usaram medidas de refletância para quantificar os danos causados pela ferrugem asiática da soja (*Phakospora pachyrhizi*) nas cultivares 'BRS 133' e 'Coodetec 217' e estimaram a severidade da doença pela AACPD e a associaram com o NDVI. As variáveis AACPD e NDVI foram 91,5% e 86,7%, respectivamente, correlacionadas com a produtividade. A severidade da doença progrediu ao longo dos estádios fenológicos das plantas, enquanto os valores do NDVI reduziram em função da progressão da doença, mostrando uma redução na massa verde das plantas. Os autores concluíram que o NDVI pode ser utilizada na estimativa de danos da doença e na determinação do limiar de dano econômico.

Índice de Verde - G

Similarmente ao que ocorre no NDVI, o G mede os níveis de clorofila, mostrando resultados muito parecidos. Diferenças significativas entre as médias do G foram observadas já no segundo dia após a inoculação (Tabela 10). As médias do G em plantas inoculadas com *Xap* significativamente menores que o G de plantas inoculadas com água. Isso mostra que os níveis de clorofila nas primeiras foram reduzidos em função do efeito da doença. Apesar de não haver lesão visível a olho nu, a redução dos níveis de clorofila foi detectada pelo espectrômetro precocemente (Tabela 11).

Índice da Banda de Água - WBI

Diferenças significativas pelo teste LSD a 5% de probabilidade foram observadas entre plantas inoculadas com *Xap* e o controle negativo, indicando variações no WBI, o qual está associado ao conteúdo de água na folha (Tabela 11). Nas folhas controle houve aumento do conteúdo de água ao passar dos dias de inoculação, enquanto nas folhas inoculadas com suspensão do patógeno ocorreu o inverso. A infecção provocada pelo patógeno nas folhas resulta na morte das células vegetais diariamente, interferindo no transporte de água, e na senescência da folha. Diferenças significativas no conteúdo de água nas folhas foram detectadas aos três dias após a inoculação (Tabela 10).

O WBI é utilizado para avaliar o *status* de água na planta, e pode ser muito útil para estudos de interação planta-patógeno. Newby et al. (2019) utilizaram esse índice para a detecção de infecção por *Phytophthora cinnamomi* em vegetação nativa australiana. Esses autores perceberam que o WBI foi um bom estimador para detecção da doença em duas gramíneas e duas espécies arbóreas com diferentes níveis de suscetibilidade a *P. cinnamomi*. Neste estudo, os autores inocularam e expuseram as plantas a condições de estresse hídrico em estufa. Os resultados indicam que a espectroscopia de refletância na escala foliar pode auxiliar na detecção dos efeitos da infecção por *P. cinnamomi*.

Os índices de reflectância podem ser influenciados pelo tipo de sintoma provocado pelo patógeno. Feng et al. (2017) avaliaram o *status* de água em plantas de trigo de inverno sob estresse por oídio por meio de índices de vegetação do dossel calculados com base em dados hiperespectrais *in situ*. Nesse caso, os autores observaram que o WBI não foi um bom estimador, não detectando as alterações no *status* da água na folha sob a formação de hifas causado pelo oídio.

Já no caso do oídio (*Podosphaera xanthii*) na cultura do pepino, Atanassova et al. (2019) usaram os índices vegetativos *NDVI*, *Red Edge Index*, *WBI* e índice de refletância de carotenóide com o intuito de detectar precocemente a infecção do patógeno nas folhas, o que não foi possível. Os autores só observaram diferenças entre plantas inoculadas e não inoculadas após as plantas apresentarem sintomas visíveis. Nas plantas infectadas sem sintomas aparentes da doença não houve diferenças significativas para os índices empregados.

Índice de Reflectância de Antocianina 2 - ARI 2

Para a variável ARI2 foram detectadas pelo teste F diferenças altamente significativas para as fontes de variação tipo de inoculação e tempo de avaliação (Tabela 9). Pela comparação de médias entre grupos verificou-se diferenças significativas ao longo do tempo de avaliação da doença. Os valores do ARI2 diminuíram ao longo dos dias, com diferenças significativas aos três dias após a inoculação (Tabela 10).

A ativação de mecanismos de ação bioquímico pós-formados ocorre quando um patógeno entra em contato com o hospedeiro. Assim, uma cascata de sinais é produzida pela planta, como os compostos fenólicos a fim de defender-se do ataque do patógeno (Clivelo et al., 2008). Os compostos fenólicos são compostos por fenóis simples, glicosilados, ácidos fenol-carboxílicos, derivados dos ácidos benzoico e cinâmico, ligninas, flavonoides (flavonas, antocianinas e catequinas), α -pirones (coumarinas e isocoumarinas) e quinonas (Schwan-Estrada et al., 2008). Entre os compostos fenólicos, a lignina, as fitoalexinas e os taninos têm papéis importantes na defesa vegetal. As antocianinas, por sua vez, têm sido associadas à atração de polinizadores, auxiliar na dispersão de sementes, proteção à radiação UV-B e defesa contra o ataque de patógenos (Latado et al., 2008).

Índice de clorofila do pigmento total normalizado - NPCI

Diferenças significativas entre as médias do NPCI foram observadas entre folhas inoculadas com *Xap* e controle (Tabela 11) e a partir do terceiro dia após a inoculação (Tabela 10). Os valores de clorofila no grupo controle foram maiores que no grupo inoculado como *Xap*. Os valores do índice foram observados um dia após a inoculação e decresceram ao longo dos seis dias. Os pontos de infecção do patógeno apresentam menor conteúdo de clorofila. O NPCI mede o total de clorofila na planta, sendo assim os valores mais altos caracterizam o tecido saudável, logo, planta mais forte e vigorosa, e os valores mais baixos indicam tecidos com prejuízos na clorofila total, neste caso, devido a infecção por *Xap*.

Pimenteiras com folhas infectadas pelo *Pepper yellow mosaic virus* foram estudadas por Kshirsagar et al. (2019) com base em cinco índices espectrais, sendo o NPCI um deles. Os autores observaram que o valor do NPCI na amostra

com tecido saudável foi baixo em comparação com a amostra doente, enquanto os demais índices não mostraram diferenças significativas.

Índice pigmento estrutural independente - SIPI

As médias do SIPI observadas entre grupo inoculado com *Xap* e controle (Tabela 11), bem como entre os dias de avaliação (Tabela 10), diferiram a 5% de probabilidade pelo teste LSD. O SIPI mede a eficiência no uso da luz atribuída aos pigmentos fotossintetizantes da clorofila. Por este índice foi possível observar que a partir do segundo dia após a inoculação já houve variações significativas entre os tratamentos, indicando que a infecção inicial da *Xap* no tecido foliar interferiu na eficiência fotossintética da planta.

Quando uma planta está sob algum fator de estresse, como infestação de pragas ou doenças, a produção normal de clorofila diminui, seguida por uma diminuição na absorção e um aumento na refletância nas regiões visíveis em azul e vermelho (Yang et al., 2015). A refletância também é reduzida nas bandas de ondas do infravermelho próximo (NIR) quando a camada mesofílica foliar das plantas é afetada pela invasão de patógenos ocorre à diminuição da capacidade reflexiva interna e redução na reflexão da energia NIR.

O SIPI permitiu a detecção precoce da murcha bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*) em berinjelas (Srivastava et al., 2019) e mostrou uma forte correlação positiva com parâmetros da planta, como os teores de clorofila e IAF (índice área foliar), constituindo um ótimo índice para a detecção precoce do estresse, crescimento e monitoramento de doenças em plantas.

Nesse estudo, todos os seis índices de refletância foliar foram indicados para a detecção precoce do crescimento bacteriano em folhas de feijoeiro causado por *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*.

5.5 Efeitos da infecção de *Xap* na temperatura foliar de genótipos de feijoeiro

Na Tabela 12 é apresentado o resumo da análise de variância para a variável diferencial médio de temperatura foliar (DTM). Verificou-se pelo teste F, que houve diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para a fonte de variação

tempo (dias após inoculação - DAI) e diferenças altamente significativas para genótipos e interação genótipo x DAI.

Tabela 12. Resumo da ANOVA para a variável diferencial médio de temperatura foliar em 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. inoculados por infiltração com suspensão bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) avaliados diariamente por três dias. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio	Significância
Tempo (A)	2	128,42	**
Bloco	2	0,217	
Erro a	1	0,06	
Génotipo (B)	60	4,454	***
AB	120	1,369	***
Erro b	360	0,359	
Total	545	-	
Coeficiente de variação a	7,06 %	-	
Coeficiente de variação b	17,25 %	-	

*Significativo a 5% pelo teste de F, **Significativo a 1% pelo teste de F, ***Significativo a 0,1% pelo teste de F.

Nota-se que houve um incremento no diferencial de temperatura média foliar (temperatura média da área foliar infectada por *Xap* - temperatura média da área foliar não inoculada) dos genótipos em função do tempo decorrido (Figura 12). Os resultados do agrupamento de médias Scott-Knott (1974) da variável DTM, às 24, 48 e 72 horas após a inoculação dos genótipos são mostrados na Tabela 13. Diferenças significativas de dentro de genótipos, isto é, entre as médias de DTM nos dias de avaliação indicam variação na evolução da doença. Os tecidos em processo de colonização por *Xap* apresentaram maiores temperaturas.

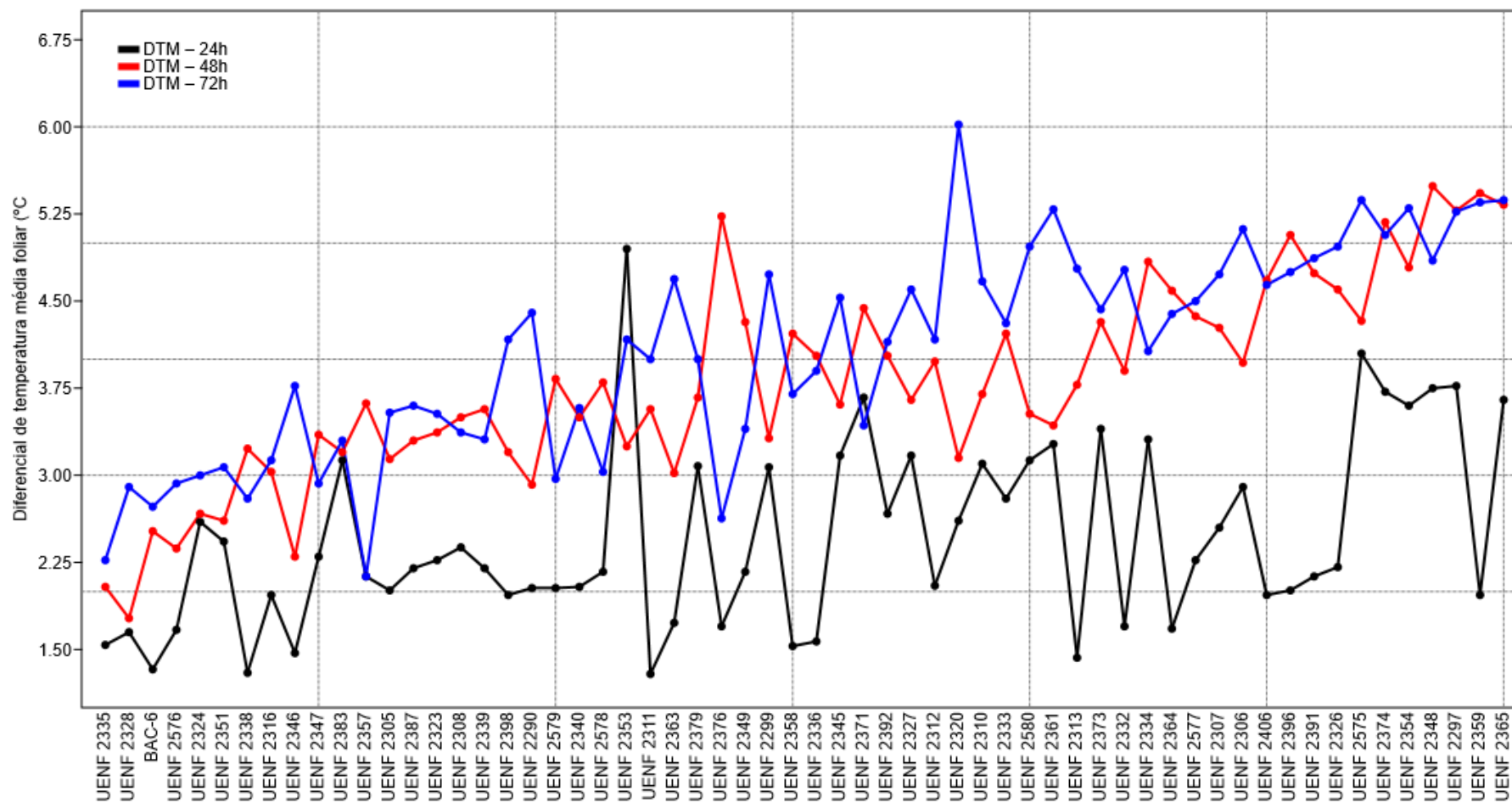


Figura 12. Médias da variável diferencial de temperatura média foliar (DTM em °C) em 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. avaliados as 24, 48 e 72 horas após a inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes – RJ, 2020.

Tabela 13. Agrupamento de médias da variável diferencial de temperatura média foliar (DTM em °C) em 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. avaliados as 24, 48 e 72 horas após a inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

Genótipo	DTM – 24h		DTM – 48h		DTM – 72h		Genótipo	DTM – 24h		DTM – 48h		DTM – 72h	
UENF 2290	2,03	Cb	2,92	Cb	4,40	Ba	UENF 2347	2,30	Ca	3,35	Ca	2,93	Da
UENF 2297	3,77	Bb	5,28	Aa	5,27	Aa	UENF 2348	3,75	Bb	5,49	Aa	4,85	Aa
UENF 2299	3,07	Bb	3,32	Cb	4,73	Ba	UENF 2349	2,17	Cb	4,32	Ba	3,40	Ca
UENF 2305	2,01	Cb	3,14	Ca	3,54	Ca	UENF 2351	2,43	Ca	2,61	Da	3,07	Da
UENF 2306	2,90	Bc	3,97	Bb	5,12	Aa	UENF 2353	4,95	Aa	3,25	Cb	4,17	Ba
UENF 2307	2,55	Cb	4,27	Ba	4,73	Ba	UENF 2354	3,60	Bb	4,79	Ba	5,30	Aa
UENF 2308	2,38	Cb	3,50	Ca	3,37	Ca	UENF 2357	2,13	Cb	3,62	Ca	2,13	Db
UENF 2575	4,05	Ab	4,33	Bb	5,37	Aa	UENF 2358	1,53	Cb	4,22	Ba	3,70	Ca
UENF 2310	3,10	Bb	3,70	Cb	4,67	Ba	UENF 2359	1,97	Cb	5,43	Aa	5,35	Aa
UENF 2311	1,29	Cb	3,57	Ca	4,00	Ba	UENF 2361	3,27	Bb	3,43	Cb	5,29	Aa
UENF 2312	2,05	Cb	3,98	Ba	4,17	Ba	UENF 2363	1,73	Cc	3,02	Cb	4,69	Ba
UENF 2313	1,43	Cc	3,78	Cb	4,78	Ba	UENF 2364	1,68	Cb	4,59	Ba	4,39	Ba
UENF 2316	1,97	Cb	3,03	Ca	3,13	Da	UENF 2365	3,65	Bb	5,33	Aa	5,37	Aa
UENF 2320	2,61	Cb	3,15	Cb	6,02	Aa	UENF 2371	3,67	Ba	4,44	Ba	3,43	Ca
UENF 2323	2,27	Cb	3,37	Ca	3,53	Ca	UENF 2373	3,40	Aa	4,32	Bb	4,43	Bb
UENF 2324	2,60	Ca	2,67	Da	3,00	Da	UENF 2374	3,72	Bb	5,18	Aa	5,07	Aa
UENF 2326	2,21	Cb	4,60	Ba	4,97	Aa	UENF 2577	2,27	Cb	4,37	Ba	4,50	Ba
UENF 2327	3,17	Bb	3,65	Cb	4,60	Ba	UENF 2376	1,70	Cb	5,23	Aa	2,63	Db
UENF 2328	1,65	Cb	1,77	Db	2,90	Da	UENF 2379	3,08	Ba	3,67	Ca	4,00	Ba
UENF 2576	1,67	Cb	2,37	Da	2,93	Da	UENF 2383	3,13	Ba	3,20	Ca	3,30	Ca
UENF 2332	1,70	Cb	3,90	Ca	4,77	Ba	UENF 2387	2,20	Cb	3,30	Ca	3,60	Ca
UENF 2333	2,80	Bb	4,22	Ba	4,31	Ba	UENF 2578	2,17	Cb	3,80	Ca	3,03	Da
UENF 2334	3,31	Bb	4,84	Ab	4,07	Ba	UENF 2579	2,03	Cb	3,83	Ca	2,97	Da
UENF 2335	1,54	Ca	2,04	Da	2,27	Da	UENF 2580	3,13	Bb	3,53	Cb	4,97	Aa
UENF 2336	1,57	Cb	4,03	Ba	3,90	Ca	UENF 2391	2,13	Cb	4,74	Ba	4,87	Aa
UENF 2338	1,30	Cb	3,23	Ca	2,80	Da	UENF 2392	2,67	Cb	4,03	Ba	4,15	Ba
UENF 2339	2,20	Cb	3,57	Ca	3,31	Ca	UENF 2396	2,01	Cb	5,07	Aa	4,75	Ba
UENF 2340	2,04	Cb	3,50	Ca	3,58	Ca	UENF 2398	1,97	Cb	3,20	Ca	4,17	Ba
UENF 2345	3,17	Bb	3,61	Cb	4,53	Ba	UENF 2406	1,97	Cb	4,68	Ba	4,64	Ba
UENF 2346	1,47	Cb	2,30	Db	3,77	Ca	BAC-6	1,33	Cb	2,52	Da	2,73	Da

Médias seguidas da mesma letra maiúsculas na vertical (genótipos) e minúsculas na horizontal (tempo) não diferem entre si.

DTM = temperatura média da área foliar infectada por Xap - temperatura média da área foliar não inoculada.

Com 24 h após a inoculação foram observadas variações de DTM entre 1,29 °C e 4,95 °C (DTM média = 2,46 °C) com diferenças significativas entre e dentro de genótipos, sendo estes classificados em três grupos. Passadas 48 h da inoculação, houve um aumento na amplitude de variação de DTM oscilando de 1,77 °C a 5,49 °C com DTM média de 3,80 °C entre os genótipos, os quais formaram quatro grupos. Três dias após a inoculação (72h) os genótipos foram classificados em quatro grupos e verificou-se DTM mínimo equivalente a 2,13 °C, DTM máximo de 6,02 °C e DTM médio igual a 4,07 °C (Tabela 13).

Os genótipos UENF 2335, BAC-6, UENF 2328 e UENF 2576 não diferiram entre si com base na comparação das médias de DTM durante todo o período de avaliação, indicando resistência ao CBC foliar. Até após 24h não foram observadas lesões nas folhas nos genótipos BAC 6, UENF 2328 e UENF 2335 (Figura 13 A), após três dias de avaliação apareceram sinais de necrose no genótipo UENF 2320, enquanto que os genótipos BAC-6, UENF 2328 e UENF 2335 não apresentaram sintomas característicos da doença (Figura 13 B).

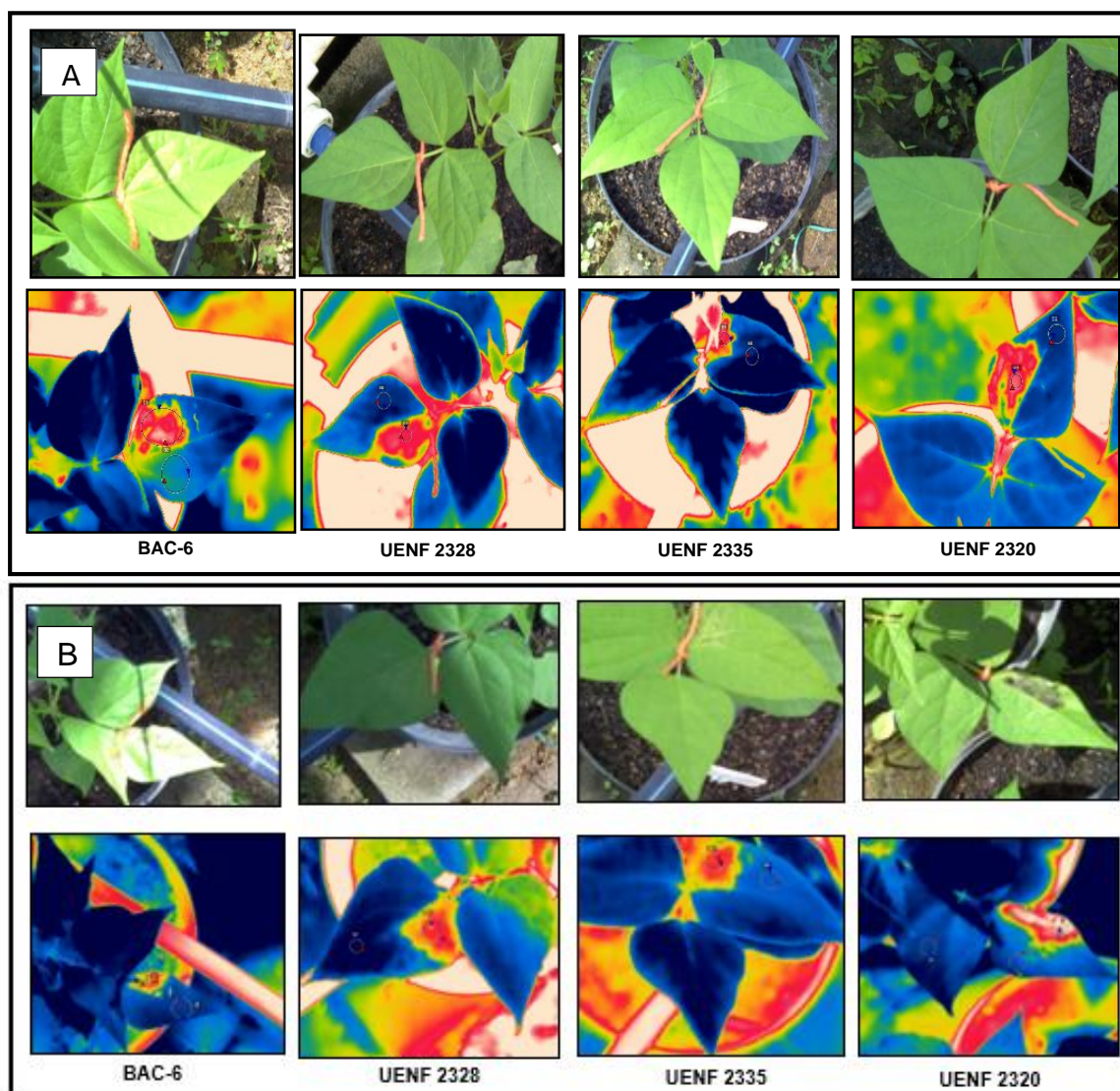


Figura 13. Imagens de reflexão (RGB) e imagens termal (pseudo-cores) dos genótipos BAC-6, UENF 2328 e UENF 2335 (resistente) e UENF 2320 (suscetível). A: 24h após a inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. B: três dias após a inoculação com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* UENF, Campos dos Goytacazes –RJ, 2020. Vermelho: maior temperatura; Azul: menor temperatura.

As imagens termais permitiram a visualização clara do desenvolvimento da doença 24 horas após a inoculação. Áreas mais avermelhadas nas imagens termais coincidem com a área foliar inoculada e indicam a emissão de radiação térmica no local e está associada à infecção por *Xap* no tecido hospedeiro. Áreas não inoculadas dos folíolos permaneceram majoritariamente azuladas, indicando temperaturas mais baixas para os tecidos saudáveis.

No terceiro dia de avaliação observou-se 6,02°C de DTM no genótipo UENF 2320 (Tabela 13 e Figura 12), sendo este o valor máximo ocorrido ao longo do ensaio. O alto contraste de temperatura entre tecido saudável e tecido infectado por *Xap* indica que este genótipo é altamente suscetível. Pela análise visual na imagem RGB nota-se que há sintomas no ponto de inoculação aos 3DAI, caracterizados por mancha amarelada com pontos levemente dourados, típico do CBC, enquanto pela imagem termal há uma área bem definida com coloração branca intensa que corresponde à alta temperatura, e as bordas vermelhas circundadas por áreas amarelas indicando tendência para a redução da temperatura foliar quanto mais distante da zona inoculada.

Pela análise de correlações entre a severidade do CBC foliar estimada visualmente por escalas de notas e os DMTs diários, verificou-se uma associação positiva entre variáveis (Figura 14). A magnitude dos coeficientes de correlação entre AACPD e os DTM aumentaram em função do tempo de avaliação termográfica, sendo fraca 1DAI, moderada 2DAI e forte 3DAI. O DTM 3DAI expressou maior confiabilidade na discriminação do nível de resistência dos genótipos ao CBC foliar. Aos 3DAI muitos genótipos apresentavam ausência total de sintomas visíveis a olho nu, no entanto, pelas imagens termais a infecção do patógeno foi detectada. Isso mostra que a termografia é uma abordagem recomendável para detecção precoce do CBC em feijoeiro e que permite caracterização dos genótipos com ótima precisão. A otimização do tempo de caracterização de materiais, é altamente desejável em programas de melhoramento genético de plantas e o uso imagens termais podem contribuir neste sentido.

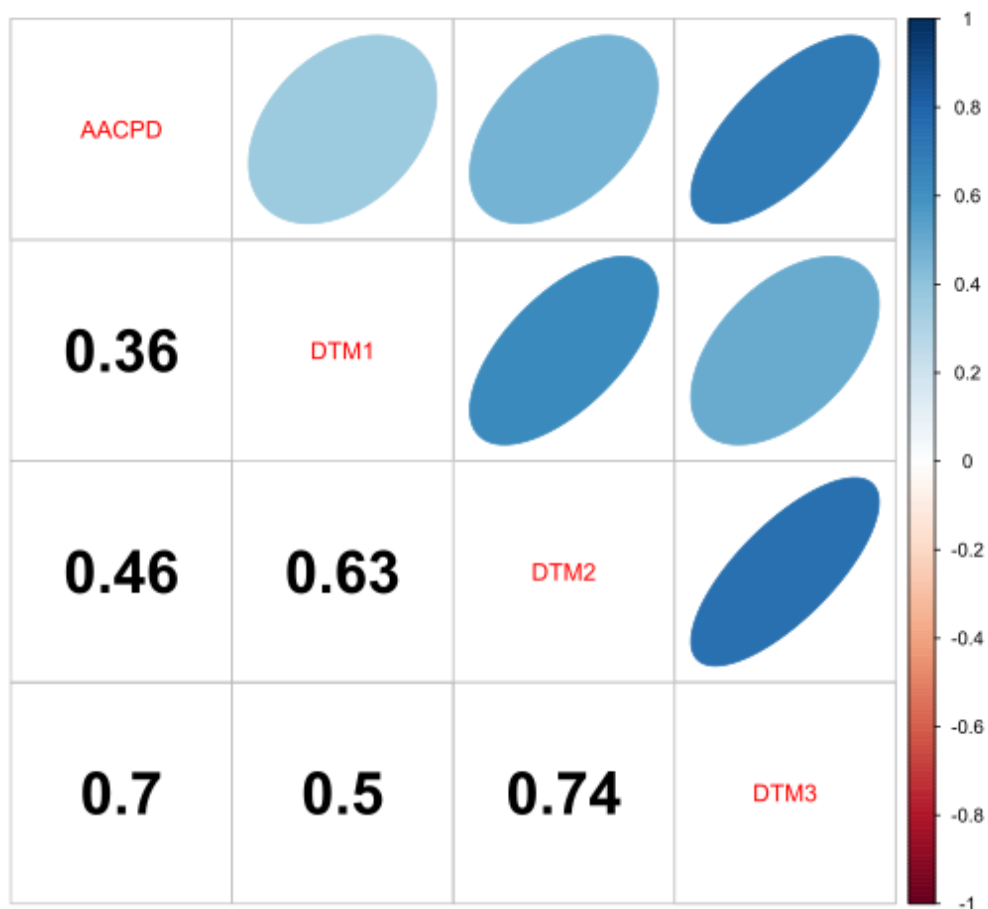


Figura 14. Coeficiente de correlação entre as variáveis área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e diferenciais de temperatura média foliar 24 horas após a inoculação (DTM1), 48 horas após a inoculação (DTM2) e 72 horas após a inoculação (DTM3), de 60 genótipos de *Phaseolus vulgaris* L., com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. UENF, Campos dos Campos dos Goytacazes –RJ, 2020.

6. CONCLUSÃO

A severidade do cretamento bacteriano comum (CBC) foliar estimadas para o método de inoculação por corte com tesoura foi superior às estimativas do método de inoculação por infiltração.

Reações diferenciais dos genótipos para o CBC na folha e na vagem foram observadas.

Os genótipos BAC-6, UENF 2335 e UENF 2328 foram resistentes CBC foliar e os genótipos UENF 2335 e UENF 2346 foram resistentes ao CBC nas vagens. BAC-6 e UENF 2328 apresentaram moderada resistência ao CBC nas vagens.

Os índices de reflectância foliar e imagens termais permitiram diagnosticar a infecção de *Xap* nos genótipos de feijoeiro antes do surgimento de sintomas visíveis a olho nu.

Os índices de reflectância foliares permitiram avaliar o progresso do CBC foliar ao longo dos dias e identificar diferenças nos padrões de reflectância do tecido foliar saudável e tecido foliar doente, porém não houve diferenças significativas entre os genótipos.

A análise termográfica aos três dias após a inoculação apresentou alta confiabilidade na discriminação dos níveis de resistência ao CBC foliar nos genótipos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, A.T.E., Gonçalves, C., Paterniani, M.E.A.G.Z., Tucci, M.L.S., Castro, C.E.F. (2014) Introduções agrícolas para as principais culturas econômicas. Boletim número 200. 7ª edição. *Instituto Agronômico de Campinas*, 170-172.
- Andrade, M.J.B.O., D.P., Figueiredo, M. A., Martins, F. A. D. (2015) Exigências Edafoclimáticas. *In: Carneiro. J. E; De Paula Junior. T. J., Bórem, A., Feijão (2ª ed)*. Viçosa: Editora UFV, 67-95.
- Andrus, C. F. (1948) A method of testing beans for resistance to bacterial blights. *Phytopathology*, 38:757-759.
- Arnaud-Santana, E., D.P. Coyne, D.P., Eskridge K.M., and Vidaver, A.K. (1994) Inheritance; Low Correlations of Leaf, Pod, and Seed Reactions to Common Blight Disease in Common Beans; and Implications for Selection. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(1):116-121.
- Arnaud-Santana, E., Pena-Matos, E., Coyne, D.P., Vidaver, A. K. (1991) Longevity of *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* in naturally infested dry bean (*Phaseolus vulgaris*) debris. *Plant Disease*, 75: 952-953
- Atanassova, S., Nikolov P., Valchev N. , Masheva S. and Yorgov D. (2019) . Early detection of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) on cucumber leaves based on visible and near-infrared spectroscopy. *AIP Conference Proceedings*.

- Baret, F., Guyot, G. (1991) Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 161-173.
- Belete, T., & Bastas, K. K. (2017). Common bacterial blight (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*) of beans with special focus on Ethiopian condition. *J Plant Pathol Microbiol*, 8(2).
- Bennett, M.D, Leitch I.J. (1995) Nuclear DNA amounts in angiosperms. *Ann Bot* 76:113-116.
- Bianchini, A., Maringoni, A.C. & Carneiro, S.M.P.G. (2005) Doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Kimati, H., Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A. & Camargo, L.E.A., *Manual de Fitopatologia* (ed.). São Paulo SP: ed. Editora Ceres, 2:333-349.
- Blair, M.W., Brondani, R.V.P., Diaz, L.M., Del Peloso, M.J. (2013) Diversity and Population Structure of Common Bean from Brazil. *Crop Science* 53(5)
- Boersma, J.G, Hou, A., Gillard, C.L., Mcrae, K.B., Conner, R.L. (2015) Impact of common bacterial blight on the yield, seed weight and seed discoloration of different market 88 classes of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 95: 703–710.
- Borém, A., Carneiro, J.E. (2015) A cultura. In: Carneiro. J. E; De Paula Junior. T. J., Borém, A., *Feijão*. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 9-15.
- Box, G.E.P., Cox, D.R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Society*, 26: 211-252
- Burkholder, W.H. (1921) The bacterial blight of the bean: a systemic disease. *Phytopathology*, 11:60-69.
- Burle, M.L., Fonseca, J.R., Kami, J.A., Gepts, P. (2010) Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. *Theoretical and Applied Genetics* 121(5):801-813.
- Bussotti, F. (2012) Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla. *Firenze University Press*.

- Cavalcanti T. F. M. (2018) *Agrobiodiversidade de feijão-comum conservado on farm, em três regiões do Estado do Rio de Janeiro*. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF, 98p.
- Chiorato, A.F., Carbonell, S.A.M., Bosetti, F., Sasserón, G.R., Lopes, R.L.T., Azevedo, C.V.G. (2015) Common bean genotypes for agronomic and market-related traits in VCU trials. *Scientia Agricola*, 72:34-40.
- CIF (2015) Centro de inteligência do feijão. Pragas e doenças. [S. l.].
- Clivelo, S. C., Nicholson, R. L. Compostos fenólicos e a importância nas doenças em plantas. (2008) *In: Pascholati, S. F.; Leite, B.; Stangarlin, J. R.; Cia, P., Interação planta-patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular*. (Ed). Piracicaba: FEALQ, 285-303.
- CONAB (2016) Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. V. 4, Safra 2016/17 - Primeiro levantamento, Brasília.
- CONAB (2018) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. *In: Abastecimento, C.N.D. (ed)*. Conab, Brasília.
- CONAB (2019) Acompanhamento da safra brasileira de grãos. *In: Abastecimento, C.N.D. (ed)*. Conab, Brasília
- Correa, J. W. da S. (2018) *Agrobiodiversidade e caracterização morfológica de variedades crioulas de feijoeiro em regiões do Estado do Rio de Janeiro*. Tese (Mestrado em Genética e melhoramento de plantas) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF, 57p.
- Cortizo, E. C., Barbosa, M. P., Souza, L. A. C. (2008) Estado da arte da termografia. *Forum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, Belo Horizonte, 2:158-193.
- Costa, J. G., Rava, C. A., Puríssimo, J. D., Del Peloso, M. J., Melo, L. C., Faria, L. C. (2008) Reação de genótipos de feijoeiro comum ao crestamento bacteriano comum e à murcha-de-curtobacterium. *Revista Ceres*, 55:393-395.

- Dansorval, A., Darrasse, A., Meyer, D., Demarty, M., Durand, K., Bureau, C., Manceau, C., Jacques, M.A. (2008) The Type III Secretion System of *Xanthomonas fuscans* subsp. *fuscans* Is Involved in the Phyllosphere Colonization Process and in Transmission to Seeds of Susceptible Beans. *Applied and Environmental Microbiology*, 2669–2678.
- Darrasse, A., Bureau, C., Samsom, R., Morris, C.E., Jacques, M.A. (2007) Contamination of bean seeds by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* associated with low bacterial densities in the phyllosphere under field and greenhouse conditions. *European Journal of Plant Pathology*, 119:203–215.
- Debouck, D. (1986) Primary diversification of *Phaseolus* in the Americas: three centers. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 67:2-8.
- Debouck, D.G. (1991) Systematics and morphology. In: Schoonhoven, A. van; Voysest, O. *Common beans: research for crop improvement*. (Ed.). Cali: CIAT, 55-118.
- Delgado-Salinas, A., Bibler, R. e Lavin, M. (2006) Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany* 31 (4): 779–791.
- Díaz, C. G. (2000) *Avaliação de danos causados por Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). – Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo – USP, 79p.
- Díaz, C.G., Bassanezi, R.B., Godoy, C.V., Lopes, D.B., Bergamin Filho, A. (2001) Quantificação do efeito do Crestamento Bacteriano Comum na eficiência fotossintética e na produção do feijoeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 26:71-76.
- Eddy, A.L, Vanhoogmoed, L.M, Snyder J.R (2001) The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *Veterinary of Journal*, 162:172-181.
- EMBRAPA (2017) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa arroz e feijão Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1062715/catalogo-de-cultivares-de-feijao-comum>

- FAO (2018) The future of food and agriculture Alternative pathways to 2050
Disponível em: <http://www.fao.org/3/l8429EN/i8429en.pdf>.
- Feng, W., Qi, S., Heng, Y., Zhou, Y., Wu, Y., Liu, W., Li He L., and Li, X. (2017)
Canopy Vegetation Indices from In situ Hyperspectral Data to Assess Plant
Water Status of Winter Wheat under Powdery Mildew Stress. *Frontiers in Plant
Science*.
- Ferreira, C. F., Pereira, M. G., Santos, A. S., Rodrigues, R., Smith, R. E. B., Viana,
A. P., Daher, R. F. (2004) *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* resistance in
common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) recombinant inbred lines. *Crop Breeding
and Applied Biotechnology*, 4(1):100-104.
- Fidelis, R.R.; Miranda, G.V.; Santos, I.C. dos; Galvão, J.C.C.; Peluzio, J.M.; Lima,
S. de O. (2007) Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo
nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:147-153, 2007.
- FLIR Systems. (2011) User's manual: FLIR Exx series. Wilsonville: FLIR Systems.
206p.
- Francisco, N. F., Morales, G. G., Fuentes, Y. M. O., Castillo, F. D. H., Mendoza, A.
B., Reyes, F. C. (2013) Aspectos fundamentales del tizón comum bacteriano
(*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith), características, patogenicidad
y control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Texcoco, 31:147-160.
- Freitas, F.D.O. (2006) Genetic-archaeological evidences about the origin of
common bean in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41(7):1199-1203.
- Gamon, J. A., Peñuelas, J., Field, C. B. (1992) A narrow-waveband spectral index
that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of
Environment* 41:35– 44.
- Gepts, P. (1998) Origin and evolution of common bean: past events and recent
trends. *HortScience* 33:1124-1130.
- Gepts, P., Debouck, D.G. (1991) Origin, domestication, and evolution of the
common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: Schoonhoven, A. van; Voysest, O.,
Common beans: research for crop improvement. (Ed.). Cali: CIAT, 7-53.

- Gepts, P., Osborn, T.C., Rashka, K., Bliss, F.A. (1986) Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) - evidence for multiple centers of domestication. *Economic Botany* 40(4):451- 468.
- Giorleo, G., Meola, C. (2002) Comparison between pulsed and modulated thermography in glass-epoxy laminates. *NDT&E International*, London, 35:287-292.
- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., Chivkunova, O. B. (2001) Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 1(74): 38–45.
- Godyń, D.; Herbut, E.; Walczak, J. (2013) Infrared Thermography as a Method for Evaluating the Welfare of Animals Subjected to Invasive Procedures—A Review/Termografia jako metoda oceny dobrostanu zwierząt poddanych inwazyjnym zabiegom—artykuł przeglądowy. *Annals of Animal Science*, 13:423-434.
- Gomez, S. (2014) Infection and spread of *Peronospora sparsa* on Rosa sp. (Berk.) a microscopic and a thermographic approach. Dissertation, University of Bonn, Germany.
- Griffiths, D. J. Introduction to Eletrodynamics. New Jersey: Pearson Addison Wesley. 1999.
- Halfeld, V., Nechet, K. de L., Souza, G. R. de (2011). Ocorrência da mancha bacteriana do feijão-caupi em Roraima e reação de cultivares. *Summa Phytopathologica*, 37 no.3
- Hartley, H.O. (1950) The Use of Range in Analysis of Variance. *Biometrika*, 37, 271-280.
- Hikishima, M., Canteri, M. G., Cláudia V. Godoy, C. V., Koga, L. J. e Silva, A. J. da (2008). Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. *Tropical Plant Pathology*, 35:096-103.

- Hoagland, D. R., Arnon, D. L. (1950) The Whater culture methods for growing plants without soil. Berkely: University of California. 32 p. (Circular, 347).
- Ibarra-Perez, F. J., Ehdai, B., Waines, J.G. (1997) Estimation of outcrossing rate in common bean. *Crop Science* 37(1):60-65.
- IBGE (2019) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rj> >.
- ISF- International Seed Federation (2019). Disponível em: <https://www.capgenseeds.com/images/Resistencias.pdf>
- Jacques, M.A., Josi, K., Darrasse, A., Samson, R. (2005) *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* var. *fuscans* Is Aggregated in Stable Biofilm Population Sizes in the Phyllosphere of Field-Grown Beans. *Applied and Environmental Microbiology*. 71(4):2008–2015.
- Jasper, M. (2010) *Comparativo de diferentes grupos de fungicidas no controle de doenças do feijoeiro*. Dissertação (Mestrado) – Ponta Grossa – PR, Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, 65p.
- Jeger, M.J., Viljanen-Rollinson, S.L.H. (2001) The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 102: 32-40.
- Kaplan, H. (2007) Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment, 3rd ed. Washington, USA: SPIE Press.
- Kelly, J. D., Miklas P. N., Coyne, D. P., Gepts P. (2003) Tagging and mapping of genes and QTL and molecular marker-assisted selection for traits of economic importance in bean and cowpea. *Field Crops Research*, 82:135-154
- Kimati, H., Mascarenhas, H. A. A. (1967) Incidência de doenças em ensaios de variedades de feijoeiro na cultura das águas no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 26:17-25.
- Kimati, H., Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin, A. F. *Manual de Fitopatologia*, vol. 2, doenças das plantas cultivadas 4° ed. São Paulo: Agronômicas Ceres, 2005.

- Krause W., Rodrigues R., Leal, V. R., (2009) Identificação de fontes de resistência e avaliação de métodos de inoculação de *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* em feijão-de-vagem. *Ciênc. agrotec.*, 33:1901-1907.
- Kshirsagar, A. V., Deshmukh, R. R., Janse, P. V., Gupta, R., Jaypalsing N. Kayte, J. N., (2019). Detection of disease from Chilly Plant Using Vegetation Indices. *International journal of computer sciences and engineering*, 7:Issue-1.
- Kwak, M., Gepts, P. (2009) Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). *Theoretical and Applied Genetics*, 118(5):979-992.
- Latado, R. R. (2008). Acúmulo de Antocianinas e Características Físicas e Químicas de Frutos de Laranjas Sanguíneas Durante o Armazenamento a Frio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30: 604-610.
- Lin, F., Wang, D., Zhang, D., Yang, X., Yin X., Wang, D. (2018) Evaluation of Spectral Disease Index PMI to Detect Early Wheat Powdery Mildew using Hyperspectral Imagery Data. *International journal of agriculture & biology*.
- Lovato, F., Kowaleski, J., Silva, S.Z., Heldt, L.F.S. (2018) Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). *Brazilian journal of food technology*, 21:2017068.
- Mahlein, A. K., Steiner, U., Hillnhütter, C., Dehne, H. W., Oerke, E. C. (2012) Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet diseases. *Plant Methods*, 8:1-13.
- Manos, M. G. L., Oliveira, M. G. C., Martins, C. R. (2013) Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro 2013-2014. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 199p.
- Manzanera, M.A.S., Asensio, C., Singh, S.P. (2005) Gamete Selection for Resistance to Common and Halo Bacterial Blights in Dry Bean Intergene Pool Populations. *Crop Science*. 46:131-135.
- Mariot, E. J. (1989) Ecofisiologia do feijoeiro. In: IAPAR, ed. O feijão no Paraná. Londrina: IAPAR, 25-41.

- Mcmanus, C., Tanure, C. B., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A. M., & Costa, J. B. G. (2016) Concepta et al. Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123:10-16.
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., Rakitin, V. Y. (1999) Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 106:135– 141.
- Messina, V. (2014) Nutritional and health benefits of dried beans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100:437-442.
- Miklas, P.N., Coyne, D.P., Grafton, K.F., Mutlu, N., Reiser, J., Lindgren, D.T., Singh, S.P. (2003) A major QTL for common bacterial blight resistance derives from the common bean great northern landrace cultivar Montana No. 5. *Euphytica*, 131: 137–146.
- Mkandawire, A.B.C., Mabagala, R.B., Guzmán, P., Gepts, P., Gilbertson, R.L. (2004) Genetic diversity and pathogenic variation of common blight bacteria (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli* and *X. campestris* pv. *phaseoli* var. *fuscans*) suggests pathogen co-evolution with the common bean. *Phytopathology*. 94:593-603.
- Moreira, J. C., Mello, E. M. K., Valeriano, D. M., Shimabukuro, Y. E., Valdete, D., Souza, í. M., Barbosa, C. C. F., Souza, R. C. M. (2004) Monitoring the brazilian amazon deforestation. In: *simpósio latino-americano sobre percepção remota y sistemas de informacion espacial*, 11, santiago, Chile. On-line. Sesión agricultura-florestal. (inpe-11647-pre/7028).
- Newby, Z., Murphy, R. J., Guest, D. I., Ramp, D., Liew, E. C. Y. (2019) Detecting symptoms of *Phytophthora cinnamomi* infection in Australian native vegetation using reflectance spectrometry: complex effects of water stress and species susceptibility. *Australasian Plant Pathology* 48:409–424.
- Oerke, E. C.; Steiner, U.; Dehne, H. W.; Lindenthal, M. (2006) Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *Journal of Experimental Botany*, 57:2121–2132.

- Oerke, E-C, Fröhling, P, Steiner, U (2011) Thermographic assessment of scab disease on apple leaves. *Precision agriculture*, 12:699-715.
- Oliveira, M. G. de C. (2018) Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. Brasília, DF: Embrapa. 59 p.
- Paradela Filho, O., Carvalho, A.M.B., Pompeu, A.S. (1967) Ocorrência de *Xanthomonas phaseoli* var. *fuscans* (Burk) Starr & Burk nos feijoeiros do estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas. 26:1-4.
- Pastor-Corrales, M. A., Beebe, S. E., Correa, F. J. (1981) Comparing two inoculation techniques for evaluating resistance in beans to *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*. In: International Conference on Plant Pathogenic Bacteria. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, p. 493-503.
- Paterniani, E.; Nass, L.L.; Santos, M.X. (200) O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: Udry, C.V.; Duarte, W. (Org.). *Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos*. Brasília: Paralelo 15:11-14.
- Paula Júnior, T. J., Vieira, R. F., Teixeira, H., Lobo Junior, M., Wendland, A. (2015) Doenças do feijoeiro: estratégias integradas de manejo. EMBRAPA arroz e feijão. Disponível em <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=1010470&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22PAULA%20JUNIOR,%20T.%20J.%20de%22&qFacets=autoria:%22PAULA%20JUNIOR,%20T.%20J.%20de%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>
- Pedraza, F., Gallego, G., Beebe, S. E., Tohme, J. (1997) Marcadores SCAR y RAPD para la resistencia a la bacteriosis común (CBB). In: Singh, S. P.; Voysest, O. (Ed), Taller de mejoramiento de frijol para el Siglo XXI: *Bases para una estrategia para América Latina*. CIAT, Cali, Colombia, 130-134.
- Peñuelas, J., Filella, I., Lloret, P., Muñoz, F., and Vilajeliu, M., (1995) Reflectance assessment of plant mite attack on apple trees. *International Journal of Remote Sensing*, 16:2727–2733.

- Peñuelas, J., Gamon, J., Fredeen, A. L., Merino, J., and Field, C. B., (1994) Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen and water-limited sunflower leaves. *Remote Sensing of Environment*, 48:135–146.
- Peñuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Filella, I. (1997) Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *Int. J. Remote Sensing* 18:2869–2875
- Perry, G., C. Dinatale, W. Xie, A. Navabi, Y. Reinprecht, W. Crosby, (2013) A comparison of the molecular organization of genomic regions associated with resistance to common bacterial blight in two *Phaseolus vulgaris* genotypes. *Frontiers Plant Sci.*
- Raggi, L., Tiranti, B., Negri, V. (2013) Italian common bean landraces: diversity and population structure. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60(4):1515-1530.
- Raji, SN, Subhash, N., Ravi, V. (2016) Detection and Classification of Mosaic Virus Disease in Cassava Plants by Proximal Sensing of Photochemical Reflectance Index. *J Indian Soc Remote Sens* 44: 875.
- Rautiainen, M., Möttöus, M., Heiskanen, J., Akujärvi, A., Majasalmi, T., Stenberg, P. (2011) Seasonal reflectance dynamics of common understory types in a northern European boreal forest. *Remote Sensing of Environment* 115:3020–3028.
- Rendón-Anaya, M., Montero-Vargas, J.M., Saburido-Álvarez, S., Vlasova, A., Capella-Gutierrez, S., Ordaz-Ortiz, J.J., Aguilar, O.M., Vianello-Brondani, R.P., Santalla, M., Delaye, L. (2017) Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. *Genome biology* 18(1):60.
- Rispail, N., Bani, M., Rubiales, D. (2015) Resistance reaction of *Medicago truncatula* genotypes to *Fusarium oxysporum*: Effect of plant age, substrate and inoculation method. *Crop and Pasture Science* 66:506-515.
- Robbs, C.F. (1954) A bacteriose do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Distrito Federal. *Agronomia*, Rio de Janeiro, 12:445-448.

- Rocha, I. S., Silva, J. M., Silva, A. R., Rietjens, A. R., Lemes, N. M., Paz-Lima, M. I., 2018. Spatio-temporal distribution of *sclerotinia sclerotiorum* in a bean field treated with different leaf control methods. *Summa phytopathol.* 44 no.4.
- Rocha-Guzmán, N.E., Herzog, A., González-Laredo, R.F., Ibarra-Pérez, F.J., Zambrano-Galván, G., Gallegos-Infante, J.A. (2007) Antioxidant and antimutagenic activity of phenolic compounds in three different colour groups of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*, 103:521-527.
- Rodrigues Neto, J., Malavolta, J.R., Victor, O. (1986) Meio simples para o isolamento e cultivo de *Xanthomonas campestris* pv. *citri* tipo B. *Summa Phytopathologica*. 12: 16.
- Rodrigues, R., Leal, N. R., Pereira, M. G., Lam-Sánchez, A. (1999) Combining ability of *Phaseolus vulgaris* L. for resistance to common bacterial blight. *Genetics and Molecular Biology*, 22(4):571-575.
- Rodrigues, R., Leal, N.R., Lam-Sánchez, A. (1998) Análise dialélica de cinco cultivares de feijão para resistência ao cretamento bacteriano comum. *Horticultura Brasileira*, 16:61-64.
- Ruediger, F. R. D., Chacur, M. G. M., Oba, E., Amorim, A. R., Souza, C. D. D. (2015) Termografia digital por infravermelho do escroto e qualidade do sêmen em touros nelore (*Bos Taurus Indicus*). *Colloquium Agrariae*, 10:67-74.
- Sanches, I. J. (2009) Superposição de imagens de termografia e ressonância magnética: Uma nova modalidade de imagem médica tridimensional. Tese (Doutorado em Engenharia biomédica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR. UTFPR, 168p.
- Santos, M. H. dos (2013) *Melhoramento do feijão-de-vagem: herança da resistência a xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli* e potencial agrônômico de linhas parcialmente endogâmicas obtidas pelo método ssd. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento de plantas) Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 131p.

- Santos, A.S., Bressan-Smith, R.E., Pereira, M.G., Rodrigues, R., Ferreira, C.F. (2003) Genetic Linkage Map of *Phaseolus vulgaris* L. and identification of QTLs responsible for resistance to *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. *Fitopatologia Brasileira*. 28(1), p. 5-10.
- Schmutz, J., Mcclean, P. E., Mamidi, S., Wu, G.A., Cannon, S. B. (2014) A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature Genetics*, 46:07-713, 2014.
- Schuster, M.L, Coyne, D.P., Behre, T., Leyna, H. (1983) Sources of *Phaseolus* species resistance and leaf and pod differential reaction to common blight. *HortScience*, 18:901-903.
- Schwan-Estrada, K. R. F., Stangarlin, J. R., Pascholati, S. F. (2008) Mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. In: Pascholati, S. F.; Leite, B.; Stangarlin, J. R., Cia, P., *Interação planta-patógeno: fisiologia, bioquímica e biologia molecular*. (Ed). Piracicaba: FEALQ, 227-248
- Scott, A., Knott, M. (1974) Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. *Biometrics*, Washington D.C.,30:507-512.
- SEAB (2016) Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, Governo do do Estado do Paraná. Disponível em <http://www.agricultura.pr.gov.br/deral/safras>
- Shailendar, K. M., Srikan, C. S., Babu, P. R, Rao, K. V., Reddy, V. D. (2015) Classification of cytochrome P450s in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Systematics and Evolution*, 301:211–216.
- Shaner, G., Finney, R. F. (1977) The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing in knox wheat. *Phytopathology*, 70:1183-1186.
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B. (1965) An analysis of variance test for normality (complete sample). *Biometrika*, Great Britain, 52:591-611.

- Shimabukuro, Y. E., Batista, G. T., Moreira, J. C., Mello, E. M. K., Duarte, V. (1998) Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat thematic mapper images of the Amazon region. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 3, p. 535-541. Publicado como: INPE-7126-PRE/3056.
- Silva, H.T (2005) Descritores mínimos para caracterizar cultivares/variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, 32p. (Documentos, 184).
- Smith, R.C.G., Adams, J, Stephens, D. J. Hick, P. T. (1995) Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46 (1):113-125.
- Souza, M. F. M., Rodrigues, R., Amaral Júnior, A. T., Sudré, C. P. (2008) Resistance to *Xanthomonas* spp. in tomato: diallel analysis and gene effects estimative in a breeding programme carried out in Brazil. *Journal of Phytopathology*, 156(11):660-667.
- Spearman, C. (1904). "General Intelligence", objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201-293.
- Spearman, C. (1927). Las habilidades del hombre: su naturaleza y medición. Buenos Aires: Paidós.
- Srivatava, A., Roy, S., Kimothi, M.M., Kumar, P., Sehgal, S. (2019) Detection of bacterial wilt disease (*Pseudomonas solanacearum*) in Brinjal using hyperspectral remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42:3-6.
- Sümbera, R., Zelová, J., Kunc, P., Kníková, I., Burda, H. (2007) Patterns of surface temperatures in two mole-rats (Bathyergidae) with different social systems as revealed by IR Thermography. *Physiology & Behavior* 92: 526-532.
- Theodoro (2004) Reação de cultivares locais de feijão a *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, em condições de campo. *R. bras. Agrociência*, 10:373-375.

- Theodoro, G. F., Herbes, D. H., Maringoni, A. C. (2007) Fontes de resistência à murcha de *curtobacterium* em cultivares locais de feijoeiro, coletadas em Santa Catarina. *Ciência e Agrotecnologia*, 31 (5): 333-1339.
- Torres, J. P., Júnior, T. A. F. da S., Maringoni, A. C. (2009) Detecção de *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em sementes de feijoeiro provenientes do estado do Paraná, Brasil. *Summa phytopathol.* 35(2).
- Trindade, R. dos S., Rodrigues, R., Amaral Júnior, A. T. do, Gonçalves, L. S. A., Daher, R.F., Sudré, C. P. (2012) Critical disease components of common bacterial blight to effectively evaluate resistant genotypes of snap bean. *J Gen Plant Pathol.* 78:201–206.
- Trindade, R. S., Rodrigues, R., AmaraL Júnior, A. T., Gonçalves, L. S. A., Viana, J. M. S., Sudré, C. P. (2015) Combining ability for common bacterial blight resistance in snap and dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, (37):37-43.
- Trujillo-P., G.E. (1989) Papel de plantas no huéspedes y malezas, en el ciclo epidemiológico de *Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*, causante de la quemazón bacteriana de la caraota. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Maracay, 15:69-84.
- Vieira, C. (1988) *Phaseolus*: Genetic Resources and breeding in Brazil In: Gepts, P. *Genetic Resources of Phaseolus Beans: Their maintenance, domestication, evolution, and utilization*, (Ed). Dordrecht, Holland: Springer Science & Business Media.
- Vieira, C., Borém, A., Ramalho, M. A. P. (1999) Melhoramento do feijão. In: Borém, A. *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa. Ed. UFV, 273-349.
- Viteri, M. D.; Terán, H., Asensio, S.M., Asensio, C., Porch, T. G, Miklas, P. N., Singh, S. P. (2015) Progress in Breeding Andean Common Bean for Resistance to Common Bacterial Blight. *Crop Science*, 54: 2084-295.

- Vlasova, A., Capella, G., S., Rendón, A. M. (2016) Genome and transcriptome analysis of the Mesoamerican common bean and the role of gene duplications in establishing tissue and temporal specialization of genes. *Genome Biology*, 1:1-17.
- Wen, D.M., Chen, M.X., Zhao, L. (2019) Use of thermal imaging and Fourier transform infrared spectroscopy for the pre-symptomatic detection of cucumber downy mildew. *Eur J Plant Pathol* 155:405.
- Wendland A., Lobo J.M., Sartorato A., Rava Seijas C.A. (2014) Doenças da parte aérea. In: Gonzaga AC (Ed.). Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). *EMBRAPA* 2:153-161.
- Yang, X., Hong, H., You, Z., Cheng, F. (2015) Spectral and image integrated analysis of hyperspectral data for waxy corn seed variety classification. *Sensors*, 15(7):15578- 15594.
- Yusuf, M.A, Kumar, D, Rajwanshi, R, STrasser, R.J, Tsimilli-Michael, M, Govindjee, Sanir, N.B. (2010) Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophylla fluorescence measurements. *Biochimica et Biophysica Acta*, Amsterdam, 1797:1428-1438.
- Zapata, M., Frytag, G.F., Wilkinson, R.L. (1985) Evaluation for bacterial blight resistance in beans. *Phytopathology*, St. Paul, 75:1032-1039.
- Zhu, W., Chen. H., Ciechanowska, I., Spaner, D. (2018) Application of infrared thermal imaging for the rapid diagnosis of crop disease. *ScienceDirect* 51:424–430.