

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS ARARANGUÁ
LICENCIATURA EM FÍSICA

Angelina Monsani

**SONIA GUIMARÃES E OS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRATERMELHA: UMA
ANÁLISE DE UM FATO CIENTÍFICO ENVOLVENDO UMA CIENTISTA NEGRA
SOB A PERSPECTIVA NATUREZAS-CULTURAS**

Araranguá

2025

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS ARARANGUÁ
LICENCIATURA EM FÍSICA

Angelina Monsani

**SONIA GUIMARÃES E OS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRATERMELHA: UMA
ANÁLISE DE UM FATO CIENTÍFICO ENVOLVENDO UMA CIENTISTA NEGRA
SOB A PERSPECTIVA NATUREZAS-CULTURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Santa Catarina - Câmpus Araranguá
como parte das exigências para a obtenção do
título de Licenciada em Física.

Orientadora: Profa. Ma. Larissa do Nascimento
Pires

Coorientadora: Profa. Dra. Mônica Knöpker

Araranguá

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família, que foi meu porto seguro durante toda a graduação. Obrigada pelo amor, pela compreensão e por acreditarem em mim mesmo quando eu duvidei. Cada palavra de apoio, cada gesto silencioso de cuidado e cada demonstração de confiança me sustentaram nos dias mais difíceis, lembrando-me constantemente de que eu não caminhava sozinha.

Às minhas orientadoras, Larissa e Mônica, deixo meu agradecimento mais sincero. Vocês foram muito mais do que orientadoras: foram exemplo de compromisso, escuta e sensibilidade. Com vocês aprendi que pesquisar é também um ato de coragem, paciência e ética. Aprendi, sobretudo, que crescer academicamente exige esforço, disciplina e honestidade intelectual e vocês me mostraram isso com generosidade, presença e, quando necessário, com os puxões de orelha que me fizeram enxergar além do óbvio.

Sou profundamente grata por cada orientação firme, por cada insistência para que eu acreditasse no meu potencial e por não permitirem que eu desistisse quando o caminho parecia difícil. Sem o cuidado rigoroso de vocês, sem as leituras atentas, sem as conversas que ampliaram meus horizontes e sem a confiança que depositaram em mim, este trabalho não teria sido possível. Obrigada por insistirem na minha formação, por me apoiarem e por me ensinarem muito mais do que está escrito em livros: ensinaram-me a ter responsabilidade com a ciência e com a minha própria voz.

Meu agradecimento especial à Profa. Dra. Sonia Guimarães, que não apenas concedeu a entrevista, material empírico desta pesquisa, mas abriu caminhos, rompeu barreiras e mostrou que a ciência brasileira tem rosto, história e humanidade. Sua generosidade em compartilhar memórias, sua força diante das adversidades e sua paixão pela pesquisa foram fonte constante de inspiração. Obrigada pela confiança, pela sinceridade e por me permitir contar um pouco de sua trajetória, uma trajetória que ensina, provoca e transforma.

Agradeço também à professora Gabriela Kaiana Ferreira e aos professores Israel Müller dos Santos e Paulo Vitor Monteiro, membros da banca avaliadora, cujo olhar atento, crítico e generoso contribuiu de maneira essencial para o amadurecimento desta pesquisa. Cada sugestão, questionamento e apontamento realizado ao longo do processo foi fundamental para que este trabalho se fortalecesse e alcançasse maior rigor acadêmico. Sou grata pelo tempo dedicado, pela disponibilidade em dialogar e pela seriedade com que acolheram este estudo. A participação de vocês foi indispensável para que esta investigação pudesse avançar com mais clareza, profundidade e responsabilidade científica.

Aos professores e colegas do IFSC – Campus Araranguá, obrigada pelas conversas que viraram aprendizados, pelas risadas que aliviaram a rotina, pelos trabalhos em grupo que desafiaram e fortaleceram, e pelos encontros que marcaram essa caminhada. Cada troca vivida ao longo do curso contribuiu para minha formação, tanto profissional quanto pessoal. Aos amigos que estiveram comigo dentro e fora da universidade, obrigada por me lembrarem de respirar, descansar e acreditar. Vocês celebraram minhas conquistas, acolheram minhas angústias e me acompanharam nos momentos decisivos. A presença de vocês tornou o caminho mais leve e mais bonito, e sou profundamente grata por cada incentivo, cada mensagem e cada companhia silenciosa que me permitiu continuar. Em especial, à Larissa Gonçalves e à Hestefani Stecanella, que sempre me incentivaram e caminharam comigo nessa jornada, oferecendo apoio constante e força nos momentos em que mais precisei.

RESUMO

Historicamente, contribuições femininas na área das ciências e tecnologias foram frequentemente invisibilizadas. Apesar dos avanços nesse sentido, as chances de sucesso e de reconhecimento das mulheres em tal área são limitadas. Isso se torna ainda mais complexo para mulheres negras, que enfrentam o desafio duplo de estarem em oposição à norma da masculinidade e da branquitude. Devido a isso, consideramos importante refletir sobre a trajetória de cientistas negras. Portanto, decidimos atentar-se a de Sônia Guimarães, primeira brasileira negra a obter doutorado em Física, particularmente à sua contribuição no desenvolvimento de sensores de radiação infravermelha. Dentre as diferentes possibilidades de se contar essa história, optamos por tomar como referência a perspectiva naturezas-culturas. Logo, o objetivo almejado consistiu em investigar aspectos relativos à trajetória de Sônia Guimarães, a fim de contar uma história sobre seu trabalho no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, com base em uma perspectiva naturezas-culturas. Em busca de alcançá-lo, realizamos uma entrevista com a pesquisadora, que foi tanto elaborada quanto analisada com base nos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, proposto por Bruno Latour. Ademais, a análise da entrevista incluiu autores que discutem sobre gênero e raça. Como resultados, foi possível identificar que os sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis são fruto de uma rede complexa, que envolve atores humanos e não humanos, dentre eles a própria Sônia Guimarães, elementos químicos, equipamentos de laboratório, conhecimentos técnicos, colegas, Ministério da Defesa, etc. Afinal, cada ator, humano ou não humano, teve um papel importante para que a radiação infravermelha pudesse ser transformada em sinais detectáveis e úteis em um sensor para fins militares. A pesquisa evidenciou também que o desenvolvimento desse fato científico foi atravessado por dinâmicas de prestígio, hierarquias, machismo e racismo estrutural. Desse modo, permitiu reafirmar que a ciência é coletiva, situada e atravessada por múltiplas dimensões e que contar essa história pode ser uma forma de contribuir para a valorização de conhecimentos produzidos por mulheres negras na ciência brasileira.

Palavras-chave: Sônia Guimarães. Sensores de radiação infravermelha. Mulheres negras na Física. Sistema Circulatório dos Fatos Científicos. Ciência brasileira.

ABSTRACT

Historically, women's contributions to science and technology have often been rendered invisible. Despite some advances, the chances of success and recognition for women in these fields remain limited. This becomes even more complex for Black women, who face the dual challenge of standing in opposition to the norms of masculinity and whiteness. Because of this, we consider it important to reflect on the trajectories of Black women scientists. Therefore, we chose to focus on the path of Sônia Guimarães, the first Black Brazilian woman to earn a PhD in Physics, particularly her contribution to the development of infrared radiation sensors. Among the different possibilities for telling this story, we decided to take the nature-cultures perspective as our reference. Thus, our goal was to investigate aspects of Sônia Guimarães's trajectory in order to narrate her work in developing infrared radiation sensors for missile seeker heads, based on a nature-cultures framework. To achieve this, we conducted an interview with the researcher, which was both designed and analyzed using the five circuits of the Circulatory System of Scientific Facts proposed by Bruno Latour. In addition, the analysis of the interview incorporated authors who discuss issues of gender and race. As a result, we identified that infrared radiation sensors for missile seeker heads emerge from a complex network involving human and non-human actors, including Sonia Guimarães herself, chemical elements, laboratory equipment, technical knowledge, colleagues, the Ministry of Defense, and others. Each actor, human or non-human, played an important role in enabling infrared radiation to be transformed into detectable and useful signals in a sensor for military purposes. The research also showed that the development of this scientific fact was shaped by dynamics of prestige, hierarchies, sexism, and structural racism. In this way, it reaffirmed that science is collective, situated, and traversed by multiple dimensions, and that telling this story can contribute to the recognition of knowledge produced by Black women in Brazilian science.

Keywords: Sonia Guimarães. Infrared radiation sensors. Black women in Physics. Circulatory System of Scientific Facts. Brazilian science.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ideia tradicional de contexto e conteúdo.....	22
Figura 2 - Modelo latouriano da circulação dos fatos científicos.....	23
Figura 3 - Representação das ondas eletromagnéticas.....	29
Figura 4 - Esquema do Espectro Eletromagnético.....	30
Figura 5 - (a) Termopar e (b) Bolômetro.....	33
Figura 6 - Transmitância atmosférica da radiação infravermelha.....	34
Figura 7 - Sensor de radiação infravermelha para cabeça de mísseis.....	43
Figura 8 - Sensor já encapsulado.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados da revisão de literatura.....	14
Quadro 2 - Citações dos trabalhos do Grupo 1.....	15
Quadro 3 - Citações dos trabalhos do Grupo 2.....	16
Quadro 4 - Citações dos trabalhos do Grupo 3.....	16
Quadro 5 - Objetivos específicos e estratégias metodológicas.....	36
Quadro 6 - Perguntas elaboradas para a entrevista.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 MULHERES NEGRAS NA CIÊNCIA.....	19
3.2 OS CIRCUITOS DO SISTEMA CIRCULATÓRIO DOS FATOS CIENTÍFICOS.....	21
3.3 A FÍSICA DOS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRATERMELHA.....	28
4 METODOLOGIA.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE.....	62
APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	62
APÊNDICE B – ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.....	65

1 INTRODUÇÃO

De modo geral, ao longo da história das mulheres na ciência houve significativa invisibilidade quanto às contribuições femininas (Silva, 2012). Vale lembrar que, nas primeiras décadas do século XX, a ciência estava culturalmente definida como uma carreira imprópria para as mulheres (Chassot, 2013; Silva, 2018). Mesmo que atualmente já se tenha um entendimento diferenciado sobre isso e que a participação de mulheres na área de ciências e tecnologias tenha crescido, as chances de sucesso e reconhecimento ainda são reduzidas (Leta, 2003; Gomes, 2022). Afinal, como alerta Santana (2021), no decorrer do tempo, muitas mulheres foram historicamente excluídas e ignoradas na ciência porque o acesso às universidades e instituições científicas lhes era restrito, além de prevalecer uma visão patriarcal que as destinava ao espaço doméstico. Assim, suas pesquisas eram desvalorizadas, invisibilizadas ou atribuídas a homens, configurando o chamado Efeito Matilda¹.

Somado a isso, as mulheres cientistas têm encontrado outras dificuldades. Uma delas diz respeito ao fato de que elas precisam conciliar a vida profissional com a vida privada que, no caso das mulheres, geralmente inclui questões relacionadas à casa e à família, ainda mais quando se tornam mães (Cartaxo, 2012). Desse modo, a mulher-mãe-pesquisadora se depara com uma jornada excessiva de trabalho, na qual precisa dar conta de inúmeras exigências (Silva, 2012).

Ademais, conforme Gomes (2022), outra dificuldade enfrentada por elas está relacionada à falta de motivação em seus meios de convivência, assim como associada à ausência de modelos para se inspirar, posto que, baseado em uma segregação horizontal, as profissões tendem a ser separadas por estereótipos de gênero (Barros; Mourão, 2018; Lima, 2018). Cartaxo (2012, p. 15) exemplifica esse fenômeno a partir do caso da área da Física. Segundo a autora,

O estereótipo de um cientista da área da Física é associado predominantemente à imagem masculina. Esse estereótipo transmitido de geração em geração pela sociedade acaba por afastar as mulheres desta área. Nesta visão, os físicos (quase sempre homens) passam grande parte de suas vidas estudando em laboratórios, sem tempo para a família, o que seria entendido culturalmente como uma carreira imprópria para as mulheres, que deveriam se dedicar à família, ter filhos, etc. Essa imagem pouco atraente da Física é alimentada entre as mulheres por seus familiares e pela sociedade logo que elas começam a se interessar pela área.

¹ O Efeito Matilda é um conceito introduzido por Margaret Rossiter (1993), em seu artigo *The Matthew Matilda Effect in Science*, para descrever a sistemática desvalorização ou apropriação das contribuições de mulheres na ciência, cujas descobertas frequentemente eram atribuídas a homens.

Diante de dificuldades como as mencionadas é possível perceber que ser mulher cientista não é algo simples. Ser mulher cientista e negra é ainda mais complexo. Isso porque não se está apenas em oposição à norma da masculinidade como também em oposição à norma da branquitude, o que dificulta ainda mais seu reconhecimento pleno como indivíduo (Silva; Massino; Alves-Brito, 2024). Para se ter uma ideia disso, por mais que, nos tempos atuais, se encontre um número significativo de discussões sobre mulheres nas ciências, o esforço para explorar trajetórias das mulheres negras ainda é inócuo (Pinheiro, 2019).

Perante esse cenário de lacunas, refletir sobre a trajetória de mulheres cientistas negras, especialmente as brasileiras, é essencial para valorizar suas contribuições históricas à ciência e, ao mesmo tempo, renovar o imaginário social sobre quem pode exercer a pesquisa no país. Ao tornar conhecidas as trajetórias dessas figuras, há a potencialidade de se contribuir no sentido de romper com a invisibilidade institucional e cultural que historicamente excluiu vozes fundamentais do cenário científico (Teixeira; Vergueiro, 2018), a exemplo de mulheres negras.

Levando isso em consideração, decidimos atentar-se às contribuições da cientista Sonia Guimarães, particularmente por ela ser a primeira brasileira negra doutora em Física no Brasil. Cabe ressaltar que Sonia, de acordo com seu Currículo Lattes², é especialista em Física Aplicada e tem pesquisas sobre semicondutores e desenvolvimento de sensores de calor. Além disso, ela possui registro como inventora da técnica de produção de sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis.

Entre as diferentes possibilidades de se contar um pouco da história de Sonia Guimarães, mais especificamente sobre as questões relacionadas ao desenvolvimento dessa técnica que lhe rendeu uma patente³, consideramos relevante lançar mão de uma forma que contemple, de modo emaranhado, elementos que costumam ser associados à natureza e elementos que costumam ser ligados à cultura⁴, a saber: a perspectiva naturezas-culturas. Afinal, conforme explica Descola (2007), a maior parte dos objetos que nos rodeiam estão numa situação intermediária: são naturais e culturais ao mesmo tempo. Defendemos essa perspectiva pelo fato de que, assim como Latour (2017), acreditamos que fatores científicos e fatores sociais estão imbricados no desenvolvimento de um fato científico.

Para tanto, tomamos Bruno Latour (2017) como base teórica, já que seu trabalho ajuda a entender de que modo os fatos científicos são constituídos a partir da ação de vários atores:

² Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/3737671551535600>. Acesso em: 02 mar. 2025.

³ A referida patente possui o seguinte número de registro: BR1020140181970.

⁴ Cabe esclarecer que relacionamos questões que costumam ser associadas à natureza com fatores científicos e elementos que costumam ser ligados à cultura com os fatores sociais.

equipamentos, materiais, instituições, políticas, pessoas, normas, práticas, etc. Em vez de tratar a ciência como algo isolado da sociedade ou restrito ao laboratório, Latour (2017) mostra que natureza e cultura se entrelaçam em todos os processos de produção de conhecimento. Ademais, como destacam Lima, Ostermann e Cavalcanti (2018), essa perspectiva ajuda a enxergar a ciência “em circulação”, mostrando como cada fato científico é construído, negociado e estabilizado dentro de uma ampla rede sociotécnica que envolve tanto humanos quanto não humanos.

Sendo assim, ao invés de escrevermos duas histórias: uma sobre a “vida” e outra sobre a “obra” de Guimarães, que não se interseccionam em momento algum, optamos por escrever uma história que entrelace ambos os fatores. Nesse sentido, tomamos como referência os cinco circuitos do que Latour (2017) denominou de Sistema Circulatório dos Fatos Científicos.

Frente ao exposto, este trabalho pretende atentar-se ao seguinte problema de pesquisa: *Como contar uma história sobre Sonia Guimarães, mais especificamente sobre seu trabalho envolvendo sensores de radiação infravermelha, com base em uma perspectiva naturezas-culturas?* Nossa hipótese é que é possível contar essa história tomando como referência os cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, de forma a favorecer a compreensão de como a ciência se desenvolve, em especial, em um caso que tem como protagonista uma cientista negra.

Desse modo, a presente pesquisa tem como objetivo geral investigar aspectos relativos à trajetória de Sônia Guimarães, a fim de contar uma história sobre seu trabalho no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, com base em uma perspectiva naturezas-culturas. Consequentemente, seus objetivos específicos são os seguintes: i) descrever informações relacionadas aos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, proposto por Bruno Latour, envolvidos no trabalho sobre sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis e ii) evidenciar implicações de questões de gênero e raça vivenciadas por Sônia Guimarães no processo de desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis.

Este trabalho está organizado em seis capítulos. Após esta Introdução, apresenta-se a Revisão de Literatura e o Referencial Teórico, que fundamentam a pesquisa. Em seguida, são descritos os procedimentos metodológicos adotados, os resultados obtidos e suas discussões. Por fim, são apresentadas as Considerações Finais, seguidas das Referências e dos Apêndices.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura teve como objetivo rastrear artigos da área de Ensino de Ciências/Física que abordam de alguma forma fatos relacionados à trajetória de Sônia Guimarães. Isso porque, a nosso ver, seria crucial identificar, em particular, como a história da cientista vem sendo abordada em tais pesquisas.

Em um primeiro momento, a revisão foi desenvolvida na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Para tanto, utilizamos as seguintes combinações de descritores com o auxílio do operador booleano AND: “cientista” e “Sônia Guimarães”, “mulheres na ciência” e “Sônia Guimarães” e “mulheres negras na ciência” e “Sônia Guimarães” sem restrição de recorte temporal. Como resultados, localizamos apenas a dissertação da própria cientista, Guimarães (1983), intitulada *Desenvolvimento da técnica hipsométrica para caracterização óptica de filmes finos*.

Posteriormente, ampliamos a busca para as revistas avaliadas com o *Qualis Capes* A1 e A2 da área de Ensino de Ciências no quadriênio 2017-2020⁵: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (A1), Revista Brasileira de Ensino de Física (A1), Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (A1), Investigações em Ensino de Ciências (A1), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (A1), Areté (A2), Revista Brasileira de Ensino e Tecnologia (A2) e Conexões: Ciência e Tecnologia (A2). Na realização dessa busca, utilizamos as mesmas combinações supracitadas de descritores e o mesmo critério temporal. Ao fim desse processo, encontramos apenas o artigo *Educação em Ciência nas Escolas Democráticas e as Relações Étnico-Raciais*, de Pinheiro (2019).

Devido à ausência de trabalhos relacionados à Sônia Guimarães nesses dois repositórios, a pesquisa foi direcionada para a base de dados do Google Acadêmico. Nesse caso, acrescentamos às combinações de descritores o recorte temporal de 2014 a 2024. A partir disso, identificamos duas dissertações de mestrado, duas monografias, oito artigos e um capítulo de livro que faziam alguma referência à Sônia Guimarães. Esses estudos encontram-se no Quadro 1.

⁵ Esta avaliação trata-se da última disponível no momento da realização da revisão de literatura.

Quadro 1 - Resultados da revisão de literatura

TIPO DE TRABALHO	AUTORES(AS)	TÍTULO DO TRABALHO	LOCAL DE PUBLICAÇÃO
Dissertação	Reis (2019)	A invisibilidade do feminismo negro nos instrumentos de representação do conhecimento: uma abordagem de representatividade social	Repositório da Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Dissertação	Said (2019)	A primeira doutora negra em química na Bahia: Djane Santiago de Jesus	Repositório da UFBA
Monografia	Cortes (2018)	MULHER NA CIÊNCIA: “Ciência também é coisa de mulher!”	Repositório da Universidade Federal Fluminense (UFF)
Monografia	Souza (2022)	Mulheres no ramo científico e o olhar e experiência de Marília Goulart	Repositório da Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Artigo	Azevedo e Piol (2023)	Uma Sequência Didática Decolonial para Turmas de Física Calcada na Interseção de Cientistas Negros e Negras	Revista A Física na Escola - A3
Artigo	Cabral (2023)	Narrativas codificadas: as histórias que as mulheres negras atuantes em ambientes de produção de tecnologia digital desejam contar	VI SIMPÓSIO INTERNACIONAL LAVITS 2019
Artigo	Fary e Assai (2023)	Um olhar para a Ciência no Feminino: implicações, movimentos e projeções	Repositório da Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS)
Artigo	Guimarães e Passos (2020)	Propostas didáticas antirracistas para educação em ciências	Revista Educação, Cultura e Sociedade - B1
Artigo	Nunes (2021)	Mulheres de sucesso no campo científico: uma análise de redes sociais	Revista Estudos Feministas - A1
Artigo	Pinheiro (2019)	Educação em Ciências na Escola Democrática e as Relações Étnico-Raciais	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências - A1
Artigo	Ribeiro <i>et al.</i> (2020)	Mulher, negra e pobre: como o racismo estrutural incide na falta de oportunidade de mulheres negras no vínculo empregatício no Brasil	Repositório do Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos (UNIFIO)
Artigo	Rosa (2020)	Sonia Guimarães	Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores Negros - A4
Capítulo de livro	Gama e Batista (2019)	Desnaturalização das Representações de Gênero, Raça e Etnia na Escola	Livro Processos e Práticas de Ensino no IFTM: a inclusão e a diversidade

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Antes de discorrermos sobre os resultados presentes no Quadro 1, vale frisar que, embora o tema principal dessas investigações, exceto no caso de Rosa (2020), não seja a cientista, identificamos menções a ela nos treze trabalhos localizados.

Como forma de categorizar esses trabalhos, os dividimos em quatro grupos considerando o aprofundamento das menções feitas à Sonia Guimarães. O primeiro deles é composto pelos trabalhos de Guimarães e Passos (2020), Gama e Batista (2019) e Cabral (2019). Guimarães e Passos (2020) apenas citam o nome de Sonia Guimarães, já os demais acrescentam a isso o fato dela ser a primeira mulher negra tanto a concluir o doutorado em Física no Brasil quanto a lecionar no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), conforme exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Citações dos trabalhos do Grupo 1

AUTORES(AS)	TRECHOS
Guimarães e Passos (2020)	“Ana Caroline Maia Barboza, Bárbara Betuyaku Schittini e Lia Midori Meyer Nascimento, em <i>Quebrando estereótipos na sala de aula: contribuições de cientistas negras para ciência</i> , dissertam sobre os estereótipos na ciência e sobre a representatividade da mulher negra neste campo do saber numa perspectiva interseccional. Apresentam a história de mulheres negras cientistas: Sônia Guimarães, Anita Canavarro, Mae Carol Jamison, Valerie Thomas, Francine Ntouni, Segenet Kelemu, dentre as quais duas são do Brasil, duas dos EUA, uma do Congo e uma da Etiópia, respectivamente” (p. 307, grifos das autoras).
Gama e Batista (2019)	“A doutora em física e professora do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Sônia Guimarães, foi considerada uma “pintora” pelos estudantes. Quando informamos que ela comanda um laboratório aeroespacial no Brasil, a maioria demonstrou grande surpresa” (p. 85).
Cabral (2019)	“Sônia Guimarães, a primeira mulher negra professora no Instituto de Tecnologia Aeronáutica (ITA)” (p. 3).

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O segundo grupo é formado por trabalhos que abordam, de forma breve, a área de pesquisa da Sonia Guimarães, para além de sua formação e sua atuação no ITA. Ele é composto pelas investigações de Fary e Assai (2023), Souza (2022), Reis (2019) e Pinheiro (2019). Dentre as informações citadas, é falado sobre sensores de radiação infravermelha, sua área de pesquisa na Física, e sobre ela ser pioneira no Brasil nos estudos de tecnologia de foguetes, conforme evidenciado no Quadro 3.

Quadro 3 - Citações dos trabalhos do Grupo 2

AUTORES(AS)	TRECHOS
Fary e Assai (2023)	“Sonia Guimarães: Prática científica “sensores de radiação infravermelho” (p. 6).
Souza (2022)	“Sônia Guimarães, graduada em licenciatura em ciências, mestrado em física aplicada e a primeira mulher negra a conseguir um doutorado em física, sua linha de pesquisa era sobre física aplicada, com ênfase em propriedades eletrônicas de ligas semicondutoras” (p. 23).
Reis (2019)	“No marco para contribuições das mulheres negras na ciência é possível destacar Sonia Guimarães, primeira mulher negra a ser doutora em física pela Manchester Institute of Science and Technology, em 1989. Foi professora do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), com contribuições voltadas para crescimento epitaxial de camadas de telureto de chumbo e antimônio de índio, processamento e caracterização de dispositivos fotocondutores” (p. 58).
Pinheiro (2019)	“Sonia Guimarães: Pioneirismo no Brasil nos estudos de Tecnologia de foguetes. Primeira mulher negra doutora em física no Brasil” (p. 339).

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O terceiro grupo é formado pelos trabalhos de Nunes (2021), Said (2019), Ribeiro *et al.* (2020), Azevedo e Piol (2023) e Cortes (2018) que destacam informações sobre Sonia Guimarães, tanto relacionadas ao seu currículo quanto às suas conquistas sendo uma cientista negra no Brasil. No tocante a esse último aspecto, alguns deles falam sobre o fato dela ter enfrentado dificuldades associadas ao racismo e ao machismo e alguns mencionam sua importância no tocante à representatividade, conforme exposto no Quadro 4. Vale lembrar que o trabalho de Cortes (2018) possui uma seção específica sobre a cientista.

Quadro 4 - Citações dos trabalhos do Grupo 3

AUTORES(AS)	TRECHOS
Nunes (2021)	“Sônia Guimarães foi a primeira mulher negra professora no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) de São José dos Campos. Ela entrou para a sala de aula do ITA quando as mulheres ainda não eram aceitas no vestibular da instituição militar mais tradicional do país. As roupas coloridas e a risada alta contrastam com os corredores silenciosos dos laboratórios e com as fardas azuis dos militares da instituição. Professora de física há 26 anos no ITA, ela também é pesquisadora na área – onde a presença feminina é ainda menor. [...] Era a primeira negra da instituição, que tinha um número pequeno de docentes mulheres. [...] ‘Eu sei dos números que eu represento e quero que outras mulheres olhem para mim e vejam que é possível. Eu combato todos os dias um cenário que contrasta de mim só por estar aqui, mas eu quero mais que isso’” (p. 6).
Said (2019)	“Dra. Sonia Guimarães, mulher negra e primeira doutora em Física do Brasil, é de uma representação importantíssima, sendo um aspecto que contribui para inserir a

	trajetória de mulheres negras pioneiras na história das Ciências no Brasil, além de colaborar para influenciar jovens negras que queiram integrar o universo da ciência, pelo viés da representatividade” (p. 13).
Ribeiro <i>et al.</i> (2020)	“Sônia Guimarães. Admirada pela sociedade brasileira, nascida na cidade de Brotas, estado de São Paulo, conquistou como primeira mulher negra o título de Doutora em Física, sendo ainda discriminada e recusada ao tentar uma bolsa de iniciação científica, quando pertencia ao meio acadêmico da faculdade de Física na Universidade de São Carlos, onde sua professora a recusou e negou, dizendo-lhe que nunca usaria a física na vida, porém o cenário mudou e Sônia como mulher e negra, provou que com toda sua garra e determinação conseguiu conquistar um lugar de destaque na sociedade. Além de doutora em física, Sônia Guimarães foi a primeira mulher negra a lecionar em uma das universidades mais conceituadas do país, o ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), em 1993, quando a instituição ainda não aceitava mulheres como estudante, tendo então um papel vultoso, pois traz para todos o debate ao tocante às desigualdades raciais e de gênero, trazendo grande representatividade. Sônia é doutora em Semicondutores e mantenedora da Universidade Zumbi dos Palmares, onde desenvolve projetos voltados à educação para estudantes de áreas carentes e de frentes feministas, sempre salientando que suas alunas devem buscar maior conhecimento, se especializarem e se tornarem pessoas altamente qualificadas, pois, por serem mulheres e serem negras, tudo será mais complexo, devido ao racismo estrutural que predomina na sociedade” (p. 17).
Azevedo e Piol (2023)	“A doutora Guimarães é uma mulher negra que nasceu em Brotas/SP (1957). É a primeira física negra a obter um PhD no Brasil. Sua carreira acadêmica começou com o curso de licenciatura em Ciências pela UFSC (1979); depois, mestrado em Física Aplicada pela USP (1983); e, por fim, doutorado (PhD) pelo Instituto de Ciências e Tecnologia vinculado à Universidade de Manchester (1989). Atualmente, é professora do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), além de ser a primeira mulher negra a assumir tal cargo na instituição (1993), sendo também gerente do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e conselheira da Afrobrás, pertencente à Faculdade da Cidadania Zumbi dos Palmares” (p. 4). “Logo, a professora e doutora Sônia Guimarães é um exemplo de que existe espaço e produtividade para as mulheres negras na ciência. Guimarães segue como um exemplo vivo de que a capacidade de aprendizagem de uma pessoa não pode ser mensurada pela sua cor ou seu gênero. Políticas públicas e ações afirmativas devem ser ampliadas para abarcar estes segmentos da sociedade, que são rotineiramente vítimas de racismo, sexismo, misoginia e machismo” (p. 5).
Cortes (2018)	“Estudante de escola pública durante toda a vida, Sonia trabalhava na adolescência e todo seu dinheiro era destinado a pagar o cursinho, já que fazia ensino médio técnico. Sonhava em ser engenheira civil. Para realizar seu sonho prestou Mapofei, um vestibular que na década de 1970 dava vagas para as grandes faculdades de engenharia de São Paulo. Mas foi orientada por um professor a colocar como opções no vestibular os cursos que tivessem menor procura. Sua escolha foi para Licenciatura de Ciências. No segundo ano (do curso), prestou vestibular para engenharia civil, mas neste mesmo período começou a fazer disciplinas de Física e a estudar materiais sólidos, e se apaixonou” (p. 58). “Sonia Guimarães, em posição de pesquisadora e professora, deixa bem claro em suas entrevistas e palestras que acredita que a ciência pode melhorar tudo e afirma que a presença de mulheres negras na ciência também é mínima no Brasil” (p. 60).

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

O quarto grupo é formado por apenas um trabalho, qual seja: Rosa (2020), que é o

único que faz uma discussão mais aprofundada sobre Sonia Guimarães. Trata-se de uma biografia da cientista que aborda aspectos de sua vida e carreira. No entanto, o foco dado pela autora são os desafios que a cientista negra vivenciou durante sua trajetória, não se debruçando sobre sua área de pesquisa na Física. Um ponto a se destacar é o fato de que essa pesquisa, que explora de modo mais detalhado a trajetória de Sonia Guimarães, é escrita por uma mulher negra, a física e professora Katemari Rosa⁶. Isso remete ao que afirmam Ribeiro (2020) e Silva (2020) sobre serem predominantemente apenas mulheres negras que se dedicam a pesquisar e registrar trajetórias de outras mulheres negras. Entretanto, há a necessidade de que a trajetória e as contribuições de cientistas negras sejam reconhecidas e analisadas também por pesquisadores de diferentes perfis (Cipriano; Severi; Pires, 2020), ampliando a visibilidade de suas pesquisas.

Ao analisar os trabalhos identificados, para além desse quesito de grau de profundidade da abordagem dada à história da cientista, foi possível perceber também que não há estudos que, assim como nos propomos a fazer, contem um pouco da história de Sonia Guimarães a partir de uma perspectiva que evidencie a relação imbricada entre fatores científicos e sociais. Nesse sentido, supomos que este trabalho possa contribuir na mitigação dessa lacuna.

Por fim, cabe apontar a necessidade, em trabalhos futuros, de revisões mais amplas quanto aos demais temas explorados na pesquisa, a exemplo de mulheres negras na ciência.

⁶ Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/2448258167033465>. Acesso em: 29 dez. 2025.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MULHERES NEGRAS NA CIÊNCIA

Nesta seção, apresentamos a discussão sobre a presença e as trajetórias de mulheres negras na ciência, tomando autoras e autores que discutem desafios estruturais e sociais que atravessam suas carreiras e as contribuições significativas que elas oferecem ao conhecimento científico.

Em primeiro lugar, devemos pontuar que há uma significativa disparidade de gênero e de raça nas áreas das Ciências Naturais e Exatas. Isto é, uma sub-representação de mulheres brancas, mas principalmente de mulheres negras nas áreas da Física, Química, Biologia e Matemática. Por outro lado, prevalece a presença de homens e pessoas brancas em tais campos do conhecimento (Rosa, 2015), por essas áreas apresentarem características como a objetividade e a neutralidade e essas características serem culturalmente associadas a homens. Ademais, isso se deve ao fato de que às mulheres é destinado o papel da maternidade e das tarefas domésticas, algo que as afasta do ambiente científico (Cartaxo, 2012).

Essa conjuntura ilustra, em parte, barreiras como a segregação horizontal, que consiste na distinção cultural de profissões de acordo com o gênero. Por causa dessas barreiras, mulheres podem ser levadas a fazer escolhas distintas dos homens, influenciadas pela família e pela escola, por exemplo, que as incentivam a se considerarem mais aptas a certas atividades. Isso resulta em uma divisão de carreira por gênero, com profissões ditas femininas menos valorizadas no mercado de trabalho (Olinto, 2011; Lima, 2018).

A segregação horizontal está associada à segregação vertical, outra barreira enfrentada pelas mulheres, que se refere à desigualdade nas posições hierárquicas e de poder no trabalho. Vale lembrar que a segregação vertical é um mecanismo social sutil que mantém as mulheres em posições subordinadas, dificultando seu progresso profissional. Esse fenômeno é frequentemente descrito pelo termo “teto de vidro”, que diz respeito aos obstáculos “invisíveis” no ambiente de trabalho que favorecem a ascensão dos homens, dificultando o avanço das mulheres (Olinto, 2011).

A análise de estudos no campo das ciências evidencia a exclusão histórica das mulheres negras nas narrativas científicas. Muitas abordagens que utilizam categorias como gênero, raça e classe deixam de considerar as interações complexas entre esses marcadores e as experiências sociais moldadas por heranças da escravidão, do colonialismo e do capitalismo (Farias; Silva, 2024). Ao construir a história das mulheres na ciência, essas

narrativas frequentemente ignoram a interseccionalidade entre essas categorias, o que compromete uma compreensão mais profunda das realidades vividas por mulheres negras nesse campo (Rosa, 2015). A sobreposição das opressões de gênero, raça e classe impõe a essas mulheres barreiras ainda mais intensas e persistentes, contribuindo para sua contínua marginalização na esfera científica (Santos, 2020).

É fundamental chamar atenção para uma questão crítica frequentemente negligenciada: a marginalização das mulheres negras e de outros grupos historicamente excluídos. Essa exclusão vai além da falta de representatividade, ela envolve também o acesso desigual a recursos, oportunidades e reconhecimento no meio acadêmico. A ciência, que idealmente deveria ser guiada pela busca do conhecimento, muitas vezes reflete e perpetua as desigualdades sociais presentes na sociedade (Farias; Silva, 2024).

Esse processo de invisibilização resulta em um apagamento das especificidades das mulheres negras no campo científico, enfraquecendo a possibilidade de uma história feminista realmente inclusiva. A crítica de hooks (2013) aponta que, ao mesmo tempo em que as mulheres negras eram confrontadas com uma academia racializada e sexista, suas contribuições eram frequentemente diluídas nas abordagens mais amplas e abrangentes do feminismo, que tendem a centralizar as experiências de mulheres brancas.

Assim, a luta por uma história feminista das ciências passa, necessariamente, pelo reconhecimento e pela valorização das epistemologias e das vivências das mulheres negras, sem que suas pautas sejam eliminadas ou subordinadas (hooks, 2013). De outra forma, propõe-se uma redistribuição simbólica e epistêmica, pautada na escuta e na valorização das visões de mundo dessas mulheres. Esse diálogo permite ressignificar o lugar das mulheres negras na história do conhecimento no Brasil, reconhecendo-as como produtoras legítimas de saber (Xavier, 2021).

Ao analisar como a história das mulheres negras na ciência é narrada, percebe-se que elas são frequentemente citadas de maneira secundária e marginalizada nas construções tradicionais sobre mulheres cientistas (Silva, 2017). Mesmo em discursos mais críticos, que questionam as desigualdades de gênero na ciência, o papel das mulheres negras permanece obscurecido, seja como participantes ativas ou como vítimas do sistema científico. Isso acontece porque, embora essas abordagens reconheçam a existência de diferentes epistemologias, elas continuam sendo guiadas por uma lógica dominante que marginaliza experiências não hegemônicas.

Ao articular uma análise interseccional que considere raça e gênero, torna-se evidente que as mulheres negras enfrentam dupla desigualdade: por serem mulheres e por serem negras

(Pinheiro; Rosa, 2018). Ainda que representem uma parcela significativa da população brasileira, essas mulheres raramente conseguem acessar e permanecer em carreiras científicas. Quando conseguem, seus percursos são marcados por processos de alterização negativa, isto é, por formas de discriminação e exclusão baseadas na ideia de que fogem ao modelo hegemônico de cientista (Arteaga; Silva; Oliveira, 2015). Como resultado, sofrem apagamentos simbólicos, pois, devido aos estereótipos dominantes sobre quem é um “verdadeiro cientista”, elas não são reconhecidas como tal.

Dessa forma, o caminho para trazer à tona as falas, escritas e vivências das mulheres negras não é simples nem utópico. Não se trata apenas de esperar que suas histórias se integrem nos cânones da ciência, mas de reconhecer e valorizar as diferentes formas de conhecimento que elas propõem. Desse modo, a produção de conhecimento entre as mulheres negras não é apenas um reflexo das lutas por inclusão, mas também um espaço para a criação de novas formas de saber que rompem com os padrões dominantes (Carneiro, 2020). Nesse sentido, refletir sobre a presença de mulheres negras na ciência implica reconhecê-las como uma categoria social distinta, marcada tanto pelo sexismo quanto pelo racismo. Embora tenha havido avanços nas últimas décadas, fruto das lutas sociais, tais questões ainda persistem nas estruturas sociais (Rosa, 2015; Santos, 2020; Silva, Massoni, Alves-Brito, 2024).

3.2 OS CIRCUITOS DO SISTEMA CIRCULATÓRIO DOS FATOS CIENTÍFICOS

Nesta seção, expomos a discussão sobre os cinco circuitos do que Latour (2017) denominou de Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, circuitos esses que são tomados como referência no sentido de contar uma história sobre o desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis com base na perspectiva naturezas-culturas. Para tanto, foi usado como referência, em especial, o texto *O fluxo sanguíneo da ciência: um exemplo da inteligência científica de Joliot*, presente no livro *A Esperança de Pandora* (2017). Nesse texto, o autor recorre à metáfora do fluxo sanguíneo para comparar o funcionamento da ciência com o sistema circulatório humano, ressaltando o papel fundamental desse fluxo para manter os fatos científicos “vivos” e em constante movimento.

No referido texto, Latour (2017) afirma que a ciência, a sociedade e a tecnologia são interconectadas, por isso não faz muito sentido separá-las. Ele argumenta que a ciência está intimamente ligada às dinâmicas sociais e que essa relação é essencial para seu funcionamento. Com base nesse entendimento, Latour (2017) considera que a maneira mais

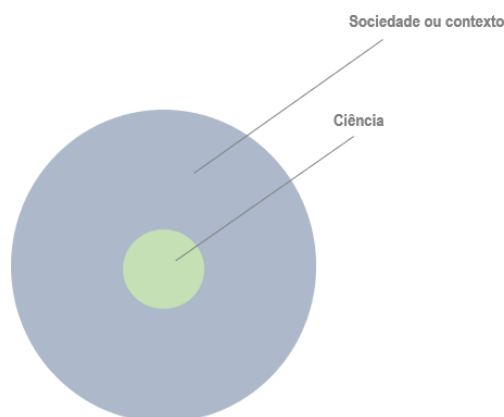
adequada de compreender a realidade dos estudos científicos é acompanhar os cientistas em ação nos bastidores.

Segundo o autor, as atividades científicas são construídas por uma rede de atores humanos e não humanos, que interagem para estabilizar os fatos aceitos por uma determinada ciência. Em complemento a isso, Latour (2017, p. 104) chama atenção para o seguinte:

A história social da ciência não diz: “Busquem a sociedade oculta dentro, por trás ou por baixo das ciências”. Apenas faz algumas perguntas simples: “Num dado período, até que ponto é possível seguir uma política antes de ter de lidar com o conteúdo detalhado de uma ciência? Até que ponto é possível examinar o conteúdo de um cientista antes de ter de lidar com os detalhes de uma política? Um minuto? Um século? Uma eternidade? Um segundo? Não pedimos que corteis o fio que vos conduz, ao longo de uma série de transições imperceptíveis, de um tipo de elemento para outro”. Todas as respostas são interessantes e constituem dados de grande relevância para aqueles que desejam compreender esse imbróglia de coisas e pessoas – inclusive, é claro, os dados que possam mostrar que não existe a menor conexão, em dada época, entre uma ciência e o resto da cultura.

Latour (2017) vai além e afirma que a visão de contexto e conteúdo como esferas separadas não reflete a dinâmica da ciência. De maneira semelhante, ele critica a ideia tradicional, representada na Figura 1, que vê a ciência como um “[...] núcleo de conteúdo científico rodeado por um ambiente social, político e cultural, a que se pode chamar de contexto da ciência” (Latour, 2017, p. 108). Para ele, a ciência não é um campo autônomo cercado por influências externas, mas sim uma prática socialmente construída, na qual os aspectos técnicos e sociais estão profundamente entrelaçados. Assim, entender a produção científica exige olhar para as interações e negociações que ocorrem tanto dentro quanto fora dos laboratórios, sem dividir a ciência do contexto social (Latour, 2017).

Figura 1 - Ideia tradicional de contexto e conteúdo

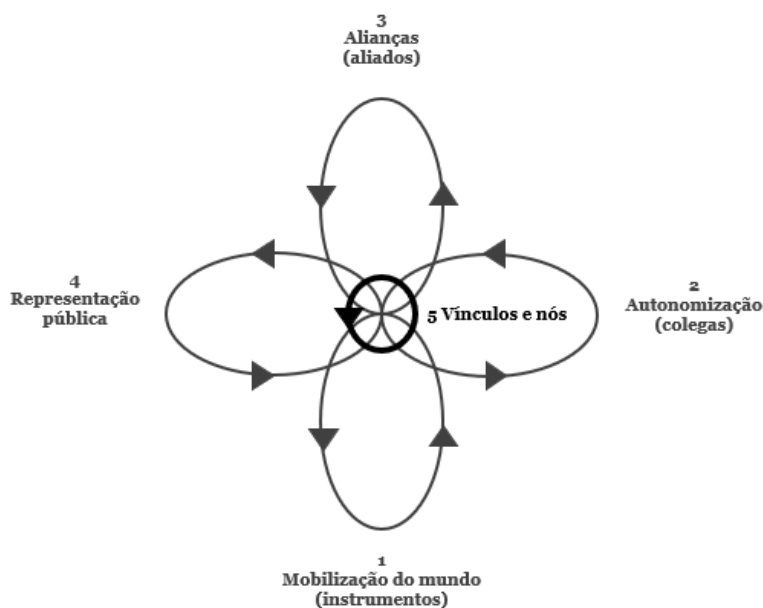


Fonte: Adaptado de Latour (2017).

Uma alternativa para esse modelo tradicional seria o modelo proposto pelo próprio Latour (2017), representado na Figura 2, a partir da analogia que, como dito anteriormente, relaciona o processo de produção e circulação do conhecimento científico com o sistema circulatório do corpo humano. Segundo o autor, para compreendermos um fato científico, é importante nos atentarmos a cinco atividades essenciais, quais sejam: (I) mobilização do mundo; (II) autonomização; (III) alianças; (IV) representação pública; e (V) vínculos e nós. Esses circuitos envolvem a interação entre diversos atores humanos e não humanos, que colaboram na validação e estabilização dos fatos científicos. Em suas palavras,

Seguindo as trilhas da circulação dos fatos, saberemos reconstruir, vaso após vaso, o sistema circulatório completo da ciência. A noção de uma ciência isolada do resto da sociedade se tornará tão absurda quanto a ideia de um sistema arterial desconectado do sistema venoso. Mesmo a noção de um “coração” conceitual da ciência assumirá um sentido completamente novo depois de começarmos a examinar a farta vascularização que dá vida às disciplinas científicas (Latour, 2017, p. 97).

Figura 2 - Modelo latouriano da circulação dos fatos científicos



Fonte: Latour (2017, p. 119).

Cabe chamar atenção para o fato dos cinco circuitos serem interdependentes: um alimenta o outro; um complementa o outro. Afinal, “cada uma dessas cinco atividades é tão importante quanto as outras, cada uma nutre-se de si mesma e das demais” (Latour, 2017, p. 118). Haveria, na ciência, semelhante ao sistema circulatório do corpo humano, “[...] um coração pulsando no centro de um rico sistema de vasos sanguíneos, ou melhor ainda, como

os milhares de alvéolos dos pulmões que reoxigenam o sangue” (Latour, 2017, p. 127). Ao comparar o funcionamento da ciência com o dos alvéolos dos pulmões, que renovam o sangue, o autor parece indicar que, através de suas práticas e instrumentos, ela revitaliza e transforma informações e dados. Em consonância com essa ideia, Latour (2017) enfatiza que o progresso científico depende da colaboração e da inter-relação entre diferentes elementos e práticas. Isso porque o conhecimento não é simplesmente acumulado, mas continuamente transformado e revitalizado por meio dessas atividades interligadas.

O primeiro circuito proposto por Latour (2017), mobilização do mundo, diz respeito ao processo de transformação do mundo em elementos que podem ser manipulados, estudados e inseridos no contexto científico. Essa mobilização envolve o uso de diversos instrumentos, equipamentos e métodos que permitem que os cientistas realizem experimentos e/ou elaborem teorias. Latour (2017, p. 120) afirma que, nesse processo, “em vez de girar em torno dos objetos, os cientistas fazem os objetos girar em torno deles”. Ou seja, eles os manipulam para que se tornem parte da construção do conhecimento. Dessa forma, os objetos não são apenas observados, mas transformados e reorganizados de acordo com as necessidades da pesquisa, permitindo sua incorporação nas redes de produção e circulação do conhecimento científico. A partir desse circuito, os humanos refinam suas compreensões sobre o mundo, construindo objetos de estudo científico que nem sempre são visíveis sem a intervenção humana.

Ao falar sobre esse circuito, Latour (2017, p. 120) comenta que,

Se quisermos entender por que essa gente [os cientistas] começa a falar com mais autoridade e segurança, teremos que acompanhar a mobilização do mundo, graças a qual as coisas ora se apresentam sob uma forma que as torna prontamente úteis nos debates entre cientistas.

Ao tornar os objetos mais acessíveis e manipuláveis, a mobilização do mundo contribui para o estabelecimento de consensos e para a construção de uma base mais sólida para as discussões científicas, consolidando, por vezes, a autoridade daqueles que têm domínio sobre os elementos transformados (Latour, 2017).

O segundo circuito proposto por Latour (2017), autonomização, relaciona-se ao fato de que os conhecimentos, as práticas, os instrumentos e os discursos que começam a ser desenvolvidos dentro de um determinado campo científico passam a ganhar certa autonomia interna. Isso significa que eles já não dependem tanto de argumentos externos para se justificar, passando a se sustentar dentro da própria rede de pesquisadores, laboratórios, artigos científicos, instrumentos e instituições (Latour, 2017).

Segundo Latour (2017, p. 121), “[...] ninguém pode se especializar sem autonomização simultânea de um pequeno grupo de pares”. Esses grupos, que muitas vezes exercem um controle significativo sobre as ideias e publicações, atuam como bases que sustentam a autonomia do campo. Eles reforçam as relações de poder e o processo de validação do conhecimento, garantindo que as práticas sejam continuamente avaliadas e regulamentadas internamente. Latour (2017) chama de “[...] “panelinhas”, grupos e facções que constituem as sementes dos relacionamentos entre pesquisadores” (Latour, 2017, p. 121). Portanto, a autonomia de uma disciplina não depende apenas da especialização técnica, mas também do fortalecimento de redes sociais e institucionais que sustentam a produção e a disseminação do conhecimento (Latour, 2017).

Latour (2017) denomina como alianças o terceiro circuito. Nas palavras dele, “nenhum instrumento pode ser aperfeiçoado, nenhuma disciplina pode tornar-se autônoma, nenhuma instituição nova pode ser fundada sem o terceiro circuito, que chamo de *alianças*” (Latour, 2017, p. 123, grifo do autor). Ele acrescenta que “é possível atrair o interesse dos militares para a física, o dos industriais para a química, o dos reis para cartografia, o dos professores para a teoria da educação, o dos congressistas para a ciência política” (Latour, 2017 p. 122). Essas coalizões entre distintos grupos e esferas sociais são essenciais para mobilizar recursos, apoio e legitimidade, permitindo que novas ideias ou tecnologias se consolidem como parte de uma estrutura mais ampla, seja acadêmica, institucional ou prática.

Latour (2017) afirma que as alianças são fundamentais para garantir a existência e a continuidade das disciplinas científicas, pois elas funcionam como mecanismos que inserem a ciência em um contexto mais amplo e seguro. Além disso, essas alianças são construídas com base em interesses compartilhados e têm o poder de acelerar o desenvolvimento científico, tornando o “fluxo sanguíneo da ciência” mais rápido e com maior intensidade (Latour, 2017). Ao formar essas coalizões, os cientistas conseguem garantir apoio de diferentes setores, como governos, empresas e outros grupos, assegurando que as descobertas e as inovações tenham sustentação para se desenvolver e se consolidar, tanto em termos de recursos quanto de legitimidade social. Esse processo de articulação de interesses é essencial para manter a ciência em movimento, promovendo uma taxa mais alta de produção e aplicação de novos conhecimentos.

O quarto circuito, representação pública, foca nas relações entre um empreendimento científico e a sua comunicação com o “mundo exterior”. Conforme explica Latour (2017), um aspecto crucial para o sucesso e a aceitação de qualquer empreendimento científico é como ele é representado publicamente. Enquanto nos circuitos anteriores a preocupação central gira

em torno de como os cientistas mobilizam o mundo, buscam legitimidade dentro de suas redes de trabalho e disciplinas e recrutam aliados, no quarto circuito a questão se desloca para a comunicação e a recepção externa, ou seja, a interação entre a ciência e a sociedade em geral (Latour, 2017).

O mundo exterior ao qual o autor se refere não é o público acadêmico ou institucional, mas uma esfera mais ampla composta pela opinião pública, mídia, políticos, empresas e, em última instância, pessoas comuns. Isso implica que a ciência não pode mais ser vista como um processo isolado, que ocorre apenas entre especialistas em laboratórios ou universidades, mas sim como uma prática que também depende da legitimidade social e do apoio popular. Em outras palavras, a ciência precisa ser representada de maneira que faça sentido para o público geral, que nem sempre possui o conhecimento técnico ou especializado para entender as implicações de uma descoberta ou teoria (Latour, 2017).

Segundo Latour (2017, p. 124):

Os mesmos cientistas que precisaram correr o mundo para torná-lo móvel, convencer colegas e assediar ministros ou conselhos de diretores têm agora de cuidar de suas relações com outro mundo exterior formado por civis: repórteres, pânditas e pessoas comuns.

Isso também aponta para um desafio adicional: enquanto no mundo acadêmico e institucional o sucesso pode ser medido por publicações, citações e financiamentos, no mundo exterior, o sucesso é frequentemente determinado pela aceitação pública e pelo impacto que a ciência tem na vida cotidiana das pessoas. A forma como a ciência é comunicada à sociedade pode afetar profundamente a credibilidade e a legitimidade da pesquisa científica, tornando esse circuito, do mesmo modo que os demais, indispensável para o desenvolvimento da ciência (Latour, 2017).

Assim, o quarto circuito não só envolve a capacidade de os cientistas fazerem suas descobertas e teorias compreensíveis e atraentes, como também exige que eles gerenciem as relações públicas e a percepção social da ciência, navegando em um cenário no qual interesses econômicos, políticos e sociais frequentemente se entrelaçam. A comunicação científica, nesse contexto, torna-se uma prática estratégica que transcende o laboratório e exige uma habilidade significativa para engajar e educar o público, ajudando a construir pontes entre a ciência e a sociedade (Latour, 2017).

O quinto e último circuito, vínculos e nós, é apontado por Latour (2017) como o núcleo do processo. O autor ressalta que ele é tão crucial quanto os outros quatro. Afinal, a

integração entre diferentes áreas depende da existência de “vínculos e nós”, que funcionam como o “coração palpitante” do sistema, conectando elementos heterogêneos e garantindo a continuidade do fluxo científico. Como afirma o autor, são os vínculos e nós que mantêm juntos os inúmeros elementos heterogêneos, permitindo que o conhecimento flua de forma organizada entre os diversos circuitos (Latour, 2017).

A referida analogia entre funcionamento da ciência e sistema circulatório é fundamental para entender a dinâmica do saber, pois, assim como as veias e artérias do corpo humano, os vínculos asseguram a interligação e a comunicação entre as diferentes partes do sistema científico. O fluxo de informações, essencial para o progresso da ciência, só é possível graças à coesão entre os quatro circuitos, que, tal como a circulação sanguínea, depende da eficiência e da interdependência de suas diversas partes. Portanto, sem esses nós de conexão, o conhecimento seria fragmentado, incapaz de avançar de maneira coesa e fluída (Latour, 2017).

Além de garantir a circulação do conhecimento, os vínculos e nós também desempenham um papel estratégico na consolidação da autoridade científica. É por meio deles que determinados discursos ganham força, enquanto outros são descartados. Ao conectar diferentes agentes, como pesquisadores, universidades, agências de fomento, periódicos e equipamentos técnicos, os nós funcionam como pontos de validação e reforço, nos quais o conhecimento é filtrado, legitimado e eventualmente transformado em referência. Dessa forma, os vínculos e nós não apenas mantêm a coesão da rede, mas também definem quais elementos nela se estabilizam como parte do que se considera ciência (Latour, 2017).

Segundo Latour (2017), uma divisão entre os diferentes circuitos impediria a compreensão do fluxo da ciência. Afinal, o conhecimento científico não se torna pleno ao se distanciar dos outros campos, mas sim ao estabelecer conexões mais estreitas com um repertório maior de recursos e áreas do saber: “um conceito não se torna científico por estar distanciado do restante daquilo que ele envolve, mas porque se liga mais estreitamente a um repertório bem maior de recursos” (Latour, 2017, p. 128). Assim, o papel desse quinto circuito é crucial para consolidar o fluxo de conhecimento, dando-lhe profundidade e sentido, interligando as diversas partes de forma harmônica e dinâmica.

Além disso, Latour (2017) argumenta que os trabalhos científicos que adotam um modelo que separa conteúdo e contexto tendem a ser marcados por desatenção e uso descuidado. Ele também alerta os historiadores para a necessidade de equilíbrio: por um lado, as análises não devem negligenciar as partes tradicionalmente consideradas “puramente científicas” em favor de focar apenas em “fatores sociais” ou “dimensões sociais”; por outro

lado, é insuficiente explorar essas dimensões contextuais sem uma análise aprofundada dos conteúdos técnicos e científicos. Como diz o autor:

Com o efeito, o que é mais sério nessa separação inteiramente artificial entre o núcleo e a célula, entre teorias e aquilo que elas teorizam, não é o fato de permitir aos historiadores intelectuais postular esse a-histórico e infindável desdobramento de ideias 'puramente' científicas. O perigo real consiste na crença correspondente, entre os cientistas sociais, de que pela concatenação prévia de contextos 'enucleados' é possível explicar a existência de sociedades sem o curso da ciência e da tecnologia (Latour, 2017, p. 130).

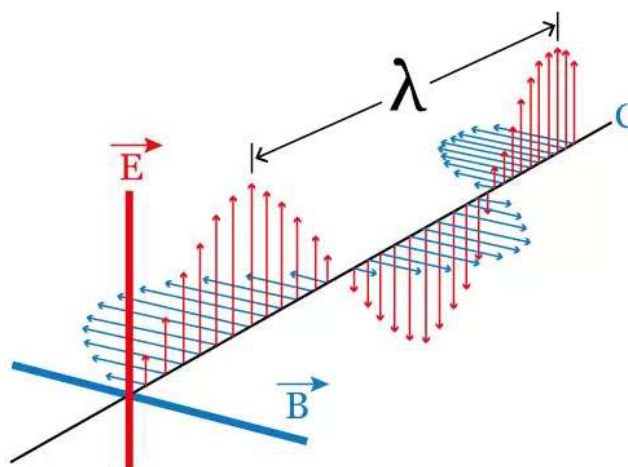
Ao enfatizar essa interdependência entre conteúdo científico e seu contexto social, Latour (2017) nos lembra que a ciência não pode ser dissociada do seu contexto, nem se limitar a um campo puramente técnico. A compreensão profunda da ciência exige a consideração simultânea dos fatores contextuais e científicos, pois ambos são essenciais para o entendimento pleno do desenvolvimento e das implicações do conhecimento (Latour, 2017). Dito de outro modo, exige uma perspectiva que considere que natureza e cultura são questões imbricadas.

3.3 A FÍSICA DOS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Nesta seção, apresentamos uma discussão conceitual sobre os sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis com o objetivo de que seja possível compreender os conhecimentos envolvidos na tecnologia em questão. Levando em consideração que o funcionamento desses sensores se baseia em princípios fundamentais da Física, em especial, no estudo das ondas eletromagnéticas, do espectro eletromagnético e da radiação infravermelha, essas são as temáticas abordadas.

Para compreender como esses sensores operam, é necessário retomar determinados fundamentos da Física que os sustentam. O ponto de partida está na natureza das ondas eletromagnéticas, já que é a partir delas que se constrói a compreensão do espectro eletromagnético e, inserido nele, da radiação infravermelha. Essas ondas consistem em perturbações que transportam energia de um lugar para outro, podendo ocorrer em diversos meios materiais ou mesmo no vácuo (como água ou ar) (Halliday, 2018). As ondas eletromagnéticas são oscilações compostas por um campo elétrico e um campo magnético que são variáveis. Essas ondas são transversais, pois os campos elétricos e magnéticos oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda. A velocidade da luz, no vácuo, equivale a 300 mil km/s ou 3×10^8 m/s (Hewitt, 2017). A Figura 3 mostra uma representação de como essas ondas eletromagnéticas se propagam.

Figura 3 - Representação das ondas eletromagnéticas



Fonte: Página da web *Educa mais Brasil* (2019).⁷

Assim como outras ondas existentes na natureza (mecânicas e gravitacionais), as ondas eletromagnéticas preservam as características de difração⁸, reflexão⁹, refração¹⁰ e interferência¹¹, bem como a capacidade de transportar energia e quantidade de movimento. Por exemplo, parte das trocas de energia entre a Terra e o Universo ocorrem por radiações eletromagnéticas que atravessam o espaço. A Terra e sua atmosfera absorvem radiação solar e emitem radiação para o espaço, mantendo o equilíbrio radiativo a longo prazo. Tal radiação também é essencial na transferência de calor entre a superfície e a atmosfera, assim como entre suas diferentes camadas (Grimm, 1999).

O espectro eletromagnético (Figura 4), por sua vez, compreende os tipos de ondas eletromagnéticas existentes na natureza, desde as ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios-X e os raios gama. Tais ondas eletromagnéticas se diferenciam pelo seu comprimento de onda (λ) e sua frequência de oscilação (f) (Tipler; Mosca, 2006). O comprimento de onda é a distância entre dois pontos consecutivos de uma onda, como de

⁷ Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>. Acesso em: 02 set. 2024.

⁸ A difração é uma característica que ocorre quando ondas (como luz, som, ondas na água) encontram um obstáculo ou passam por uma abertura cuja dimensão é comparável ao comprimento de onda da própria onda. Isso resulta na curvatura das ondas ao redor do obstáculo ou na propagação das ondas após a passagem pela abertura, criando padrões de difração específicos (Hewitt, 2017).

⁹ A reflexão é um fenômeno físico que ocorre quando uma onda encontra uma superfície e é retornando para o meio de origem (Hewitt, 2017).

¹⁰ A refração é um fenômeno físico que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro e, ao fazer isso, altera sua velocidade de propagação (Hewitt, 2017).

¹¹ A interferência é um fenômeno físico que ocorre quando duas ou mais ondas se sobrepõem, resultando em um padrão de intensidade que pode ser maior ou menor do que a intensidade das ondas individuais (Hewitt, 2017).

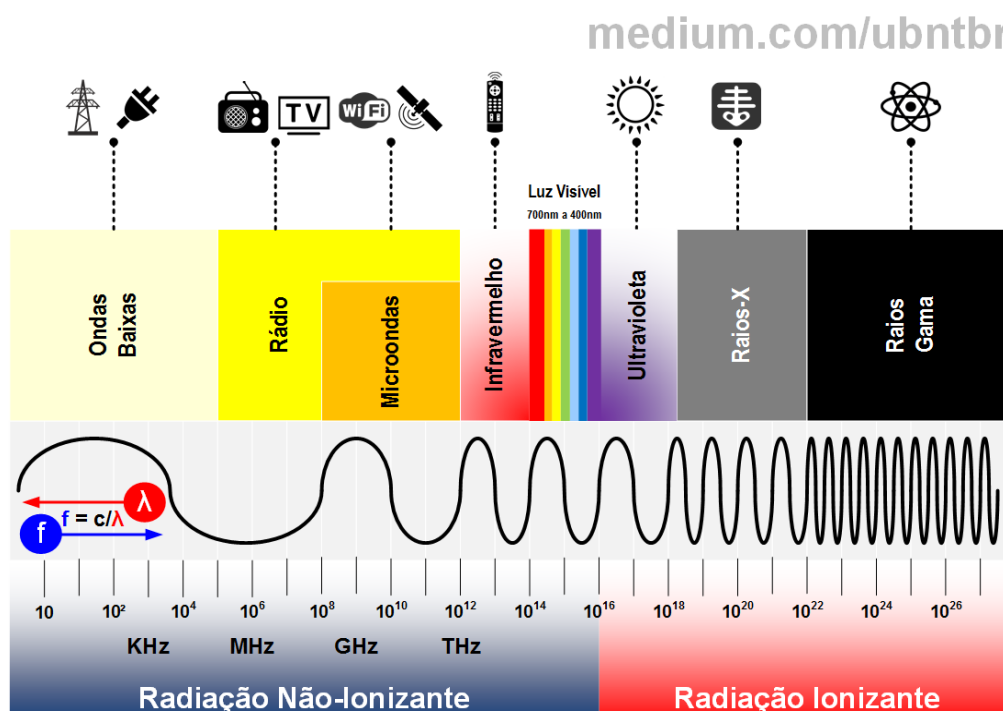
crista a crista ou de vale a vale; é uma característica fundamental que descreve a forma da onda e é geralmente representada pela letra grega lambda (λ) (Halliday, 2018). Já a frequência é o número de oscilações de uma onda em um segundo, medida em hertz (Hz). Frequência e comprimento de onda são grandezas que podem ser relacionadas, sendo inversamente proporcionais. Portanto, ondas com baixa frequência possuem alto comprimento de onda e vice-versa. Isso pode ser observado a partir da Equação 1, que apresenta a Equação Fundamental da Ondulatória, a qual relaciona a velocidade da onda eletromagnética com seu comprimento de onda e sua frequência:

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Ainda, segundo Tipler e Mosca (2006, p. 344):

Essas faixas são normalmente mal definidas, e algumas vezes, se superpõem. Por exemplo, as ondas eletromagnéticas com comprimento de onda de aproximadamente 0,1 nm são usualmente chamadas de raio X, mas se as ondas eletromagnéticas se originam da radioatividade nuclear elas são chamadas de raios gama.

Figura 4 - Esquema do Espectro Eletromagnético



Fonte: Página da web Ubiquiti Brasil (2018).¹²

¹² Disponível em:

<https://medium.com/ubntbr/como-o-sinal-wifi-%C3%A9-propagado-na-natureza-d87daef39575>. Acesso em: 04 nov. 2024.

Os olhos humanos são sensíveis às radiações eletromagnéticas situadas entre a faixa de comprimento de onda de 400 nanômetros (violeta) até 700 nanômetros (vermelho), que é a faixa que chamamos de espectro visível. Ondas com comprimentos de onda menores que o vermelho compreendem as ondas de rádio, o microondas e as ondas infravermelhas. As ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda maiores que o violeta compreendem os raios ultravioleta, raios-X e raios gama (Tipler; Mosca, 2006).

Além disso, as diversas faixas de frequência no espectro eletromagnético refletem a capacidade de interação da onda com a matéria. Assim, as radiações são classificadas como ionizantes e não-ionizantes. Radiações ionizantes, como raios ultravioleta, raios-X e raios gama, são capazes de arrancar elétrons de átomos ou moléculas, tornando-os positivamente ou negativamente carregados. Segundo Okuno e Yoshimura (2010, p. 16):

O termo radiação ionizante refere-se a partículas capazes de produzir ionização em um meio, sendo diretamente ionizantes as partículas carregadas, como elétrons, pósitrons, prótons, partículas α [alfa], e indiretamente ionizantes as partículas sem carga, como fótons e nêutrons.

Já as radiações não-ionizantes são incapazes de ionizar átomos e moléculas com as quais interagem, pois não possuem energia suficiente. Entretanto, podem excitar as moléculas e as ligações químicas com a energia envolvida nesse processo. São exemplos de radiação não-ionizante: ondas de rádio, microondas, infravermelho e luz visível (Oliveira, 2022).

Em resumo, o espectro eletromagnético é um conjunto de ondas de diferentes frequências e comprimentos de onda que são essenciais para várias áreas do conhecimento e da tecnologia. Ele engloba desde ondas de rádio, que são utilizadas nas comunicações, até radiações como raios-X e raios gama, que têm aplicações em medicina, como exames de imagem e tratamentos. Além disso, a astronomia faz uso desse espectro para estudar o universo, captando radiações provenientes de estrelas e outros corpos celestes. Portanto, o espectro eletromagnético é uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Dentro desse panorama, destaca-se a radiação infravermelha, também conhecida como radiação térmica, que consiste em um tipo de energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas, localizada no espectro entre a faixa das micro-ondas e a faixa da luz visível. Sua intensidade está relacionada à temperatura da fonte emissora. Todos os corpos com temperatura acima de 0 Kelvin, conhecido como zero absoluto (equivalente a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) emitem radiação eletromagnética na faixa do infravermelho (Chrzanowski, 2001; Silva, 2022). Cabe ressaltar que a radiação infravermelha é um tipo de radiação não-ionizante, de

baixa frequência e energia, que apresenta frequência inferior à da luz vermelha (Okuno; Yoshimura, 2010). Por essa razão, não é visível ao olho humano sem o uso de equipamentos específicos (Maldague; Moore, 2001).

O comprimento de onda da radiação infravermelha varia entre 1 micrômetro ($1\ \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\ \text{m}$) e 1 milímetro ($1\ \text{mm} = 1 \times 10^{-3}\ \text{m}$). Associada ao calor, essa radiação resulta da vibração das moléculas, gerando oscilações nas cargas elétricas. Sendo assim, a radiação infravermelha é emitida por objetos quentes e, embora não seja visível, pode ser sentida como energia térmica. Para visualizá-la, são utilizadas câmeras térmicas. Objetos como ferros de passar, ferros de solda e churrasqueiras elétricas emitem essa radiação durante seu funcionamento. Na engenharia, câmeras térmicas detectam superaquecimento em redes elétricas. Em tecnologia, exemplos incluem mouses e leitores de código de barras (Silva, 2022).

As imagens de visão noturna e o mapeamento de temperatura dos corpos são aplicações exploradas na área militar e na medicina. Além destas, podemos citar outras aplicações, como controles remotos, sensores de presença, sensores de movimentos em videogame, aparelhos para diagnósticos médicos, células solares para geração de energia elétrica, entre muitas outras (Micha *et al.*, 2011). A observação dessa radiação é historicamente associada ao astrônomo William Herschel (1738–1822), que identificou experimentalmente raios invisíveis além da luz vermelha (Oliveira; Silva, 2014). Isso abriu caminho para a compreensão moderna da radiação térmica e para o desenvolvimento dos sensores infravermelhos.

Os sensores de radiação infravermelha convertem a energia radiante em uma forma mensurável. Embora a radiação infravermelha não seja visível, ela nos permite detectar a energia na forma de calor que é transmitida pelos objetos. A energia radiante é convertida em uma imagem que mostra diferenças de energia térmica entre os objetos e suas superfícies (Manea; Ilha; Rocco, 2008).

Há dois métodos fundamentais de detecção de radiação infravermelha, sendo eles: detectores de energia e detectores de fótons (fotônica). Os detectores de energia respondem a mudanças de temperatura causadas pela radiação infravermelha, alterando as propriedades do material. Os primeiros detectores térmicos, como termopares¹³ e bolômetros¹⁴ (Figura 5), são

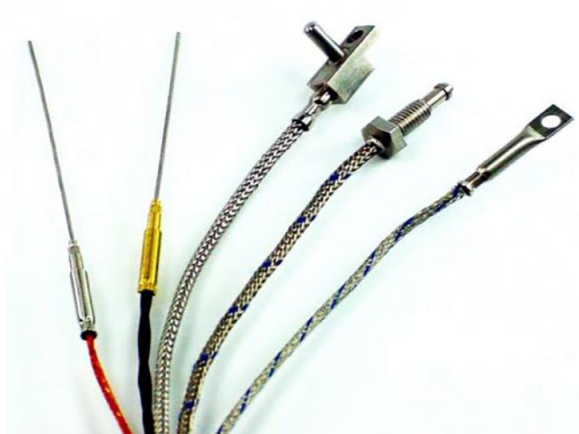
¹³ Termopares são dispositivos utilizados para medir temperatura com base no princípio da termoeletricidade. Eles consistem em dois condutores metálicos diferentes unidos em uma extremidade, formando uma única (Holman, 1998).

¹⁴ Bolômetros são dispositivos usados para medir a potência de radiação eletromagnética, especialmente em comprimentos de onda infravermelha e submilimétrica. Eles funcionam detectando a variação de temperatura

sensíveis a todos os comprimentos de onda da faixa do infravermelho e funcionam à temperatura ambiente, mas possuem baixa sensibilidade e resposta lenta sob essas condições. Já os detectores fotônicos são portadores de elétrons livres pela interação entre fótons e elétrons. Desenvolvidos desde 1940, esses detectores aumentam a sensibilidade e o tempo de resposta. O sulfeto de chumbo (PbS) foi o primeiro detector prático de infravermelho, sensível a comprimentos de onda de aproximadamente 2 a 2,5 μm (micrômetro) (Manea; Ilha; Rocco, 2008).

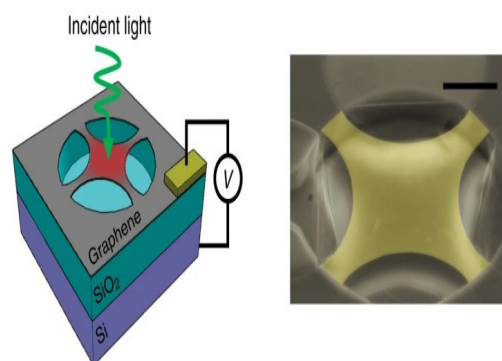
Figura 5 - (a) Termopar e (b) Bolômetro

(a) Termopar



Fonte: Beta Automação e Instrumentos¹⁵

(b) Bolômetro



Fonte: Site Inovação tecnológica¹⁶

Em relação aos detectores de radiações infravermelhas, eles são essenciais em sistemas de imageamento, com diversos tipos que possuem características distintas. Eles podem ser classificados pela configuração óptica, que inclui detectores elementares ou detectores de imageamento. Os detectores elementares capturam partes da cena em um único sinal, necessitando de um determinado tempo para varrer toda a imagem. Já os detectores de imageamento produzem a imagem diretamente, consistindo em múltiplos pontos detectores que respondem simultaneamente a diferentes partes da cena, gerando uma imagem instantaneamente (Manea, Ilha; Rocco, 2008).

causada pela radiação que incide sobre um material sensível, geralmente um elemento resistivo, cuja resistência elétrica muda com a temperatura (Holman, 1998).

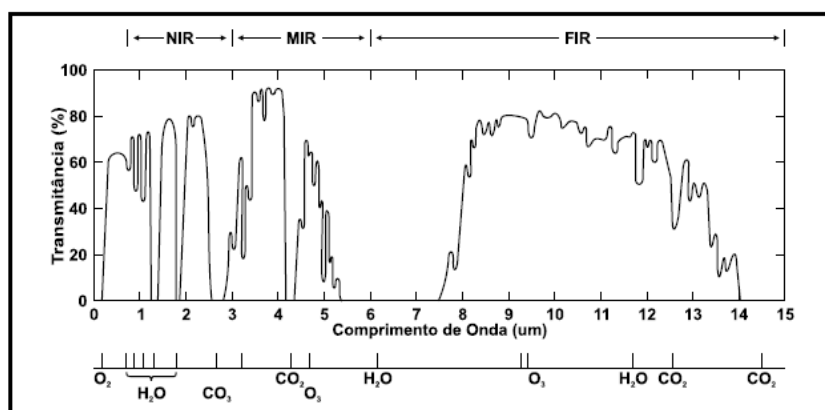
¹⁵ Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bolometro&id=010165191129>. Acesso em: 13 jan. 2025.

¹⁶ Disponível em: <https://www.betaautomacao.com.br/produto/sensor-termopar-tipo-j-k-s-e-t/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

Atualmente, os principais materiais utilizados em sensores de radiação infravermelha são o sulfeto de chumbo (PbS), antimoneto de índio (InSb) e telureto de mercúrio e cádmio (HgCdTe), que substituíram os antigos sensores baseados em PbS. O desempenho desses sensores melhora com o resfriamento, que reduz o ruído interno e aumenta a sensibilidade para detectar objetos com baixa emissão de infravermelho. Além disso, a topologia¹⁷ e a técnica de construção dos sensores são fundamentais para a sensibilidade, permitindo maior eficiência na conversão e minimizando perdas intrínsecas. Sendo assim, a maioria dos detectores utiliza materiais de processamento complexo, e a escolha do tipo ou tecnologia para um detector depende da resposta espectral desejada. Essa resposta espectral e a sensibilidade prevista determinam qual detector deve ser utilizado no projeto. Além disso, as restrições de absorção atmosférica limitam a faixa de frequências úteis para alguns detectores em mísseis e sistemas de defesa, conforme pode se observar na Figura 6 (Hobbs, 2001; Gat *et al.*, 1997; Wilkening, 2004).

Figura 6 - Transmitância atmosférica da radiação infravermelha



Fonte: Hudson (1969).

Somando a isso, um sistema de imageamento infravermelho é composto por detectores, um sistema de particionamento da cena, um sistema óptico de entrada, um sistema de refrigeração e um sistema de processamento de sinal. Os detectores convertem a radiação infravermelha em um sinal elétrico que é processado para fornecer informações a um operador. Eles podem ser montados em diversas configurações para sua aplicação em sistemas de imageamento infravermelho (Eppeldauer *et al.*, 1991).

Detectores de infravermelho são utilizados, por exemplo, em cabeças auto-diretoras de

¹⁷ A topologia dos sensores de radiação infravermelha refere-se à configuração e à disposição dos componentes que compõem esses dispositivos, influenciando seu funcionamento e aplicação (Manea; Ilha; Rocco, 2008).

mísseis para procurar e rastrear alvos, como aeronaves, focando na saída de calor das turbinas. Os projetistas de aeronaves buscam minimizar a emissão infravermelha, enquanto os de mísseis tentam aumentar a sensibilidade dos detectores. Além disso, há contramedidas, como despistadores, para enganar os detectores e fazer com que não se encontre o verdadeiro alvo (Manea; Ilha; Rocco, 2008). Os imageadores multiespectrais ou hiperespectrais são utilizados para detectar e identificar alvos em ambientes com alta interferência. Eles capturam dados espectrais em várias bandas de comprimento de onda infravermelho com largura estreita. Esses sistemas aplicam algoritmos de detecção estatística que exploram características espectrais únicas do alvo, aumentando a relação sinal-ruído e permitindo o reconhecimento automático de alvos no campo de batalha (Manea; Ilha; Rocco, 2008).

Sendo assim, assinaturas infravermelhas de aeronaves e mísseis são informações altamente sigilosas. Afinal, o perfil infravermelho conhecido permite a geração de padrões de alvos que podem ser memorizados por sistemas de identificação em tempo real. A modificação nos algoritmos de identificação e rastreamento aumenta a eficácia dos buscadores de emissão infravermelha. Ademais, essas assinaturas são usadas para desenvolver novas contramedidas, tanto para aeronaves quanto para mísseis (Manea; Ilha; Rocco, 2008).

Com base em conhecimentos como esses, a física Sonia Guimarães desenvolveu, junto com outros humanos e não humanos, a tecnologia dos sensores de radiação infravermelha para a cabeça de mísseis, visando aprimorar a detecção e o rastreamento de alvos. Por certo, seu trabalho se insere em um campo tecnológico que exige precisão, sensibilidade e alto rigor técnico na detecção de sinais térmicos. Essa tecnologia teve (e tem) impacto significativo na área militar e de defesa, uma vez que os sensores infravermelhos permitem que os mísseis sejam guiados com base na radiação emitida pelos alvos, como veículos ou aeronaves, mesmo em condições adversas, como em ambientes com baixa visibilidade ou à noite. Sua contribuição foi importante para o avanço da tecnologia de sistemas de orientação de mísseis, proporcionando maior precisão e eficiência no direcionamento e impacto desses dispositivos.

4 METODOLOGIA

A população do estudo compreende cientistas negras brasileiras. Como amostra, direcionamos nosso olhar para Sonia Guimarães, física renomada que se destaca não apenas pela sua atuação científica, mas também por sua contribuição no que tange às discussões sobre a presença de mulheres negras no campo da ciência no Brasil. Ademais, ela é uma das poucas cientistas negras a obter reconhecimento em sua área, mesmo que nem sempre por parte de seus pares, como veremos na análise, o que torna seu trabalho ainda mais relevante para a reflexão sobre as questões raciais e sociais no campo da ciência (Rosa, 2020).

Considerando que o objetivo geral desta pesquisa consiste em investigar aspectos relativos à trajetória de Sônia Guimarães, a fim de contar uma história sobre seu trabalho no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, com base em uma perspectiva naturezas-culturas, elencamos as estratégias metodológicas que trilhamos ao longo do trabalho. Essas estratégias estão organizadas no Quadro 5:

Quadro 5 - Objetivos específicos e estratégias metodológicas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS
i) Descrever informações relacionadas aos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, proposto por Bruno Latour, envolvidos no trabalho sobre sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis.	a) Realização de uma entrevista com a Sônia Guimarães tendo como foco o trabalho sobre sensores de radiação infravermelha desenvolvido por ela. As perguntas dessa entrevista contemplaram os cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos proposto por Bruno Latour.
ii) Evidenciar implicações de questões de gênero e raça vivenciadas por Sônia Guimarães no processo de desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis	b) Análise das respostas da entrevista com base nos referenciais teóricos da pesquisa, tanto relacionados aos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, quanto associados às questões de gênero e raça.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A entrevista por meio da qual coletamos dados sobre a trajetória de Sonia Guimarães,

mais especificamente sobre o desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis, ocorreu por meio de videoconferência através da plataforma *Conferência Web* da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). Isso porque a flexibilidade do ambiente virtual elimina barreiras físicas e facilita a participação de especialistas e comunidades de diversas partes do mundo (Santos, 2024), como é o caso de Sonia Guimarães, que reside em São Paulo.

De forma antecipada, foi solicitado o preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para Sonia Guimarães, conforme Apêndice A. Nesse documento, explicamos o propósito da entrevista, os métodos de coleta, o uso dos dados, o tempo estimado de duração e os direitos da entrevistada.

A entrevista foi realizada no dia 24 de setembro de 2025, data agendada conforme a disponibilidade da entrevistada¹⁸, e durou cerca de duas horas. Ela foi conduzida a partir das perguntas elaboradas previamente com base nos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos proposto por Bruno Latour (Quadro 6). Essas perguntas serviram como guia, não sendo seguidas de forma rígida a fim de que a entrevistada tivesse liberdade para compartilhar suas experiências de forma aprofundada.

Cumprе salientar, no entanto, que, antes de partirmos para os questionamentos, fizemos uma conversa inicial na qual nos apresentamos e explicamos brevemente a pesquisa e o funcionamento da entrevista. Nesse momento, a cientista também se apresentou para nós.

Quadro 6 - Perguntas elaboradas para a entrevista

Mobilização do mundo (instrumentos)	1 - No que consiste um sensor de radiação infravermelha? Qual sua função no contexto da tecnologia bélica?
	2 - De que maneira você vê a interação entre o mundo natural e a tecnologia dos sensores de radiação infravermelha?
	3 - Quais foram os instrumentos e tecnologias que você utilizou no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis? Que desafios você enfrentou nesse processo?
	4 - Existe alguma inovação específica que você desenvolveu nos instrumentos e tecnologias para superar limitações no desenvolvimento dos sensores?

¹⁸ Vale frisar que foi feita uma sondagem com a cientista, via e-mail, sobre sua participação na pesquisa. Assim que o projeto foi qualificado e aprovado no Comitê de Ética, marcamos a data da entrevista.

Autonomização (colegas)	5 - Como você enxerga a troca de ideias e feedbacks com colegas durante uma pesquisa? Como essa troca de ideias ajudou a refinar sua pesquisa?
	6 - Existe algum colega ou grupo de pesquisadores com quem você desenvolveu uma parceria mais próxima que tenha sido fundamental para o desenvolvimento da sua patente? Você pode dar exemplos de momentos em que a colaboração com outros cientistas foi essencial para o avanço do projeto?
	7 - Em sua trajetória, como a relação com seus colegas de pesquisa ajudou a fortalecer e/ou enfraquecer sua autonomia no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha?
	8 - Houve algum momento em que sua pesquisa, especialmente o desenvolvimento da patente, se distanciou da abordagem predominante ou dos métodos comuns em sua área? Você sofreu críticas por causa disso? Como você lidou com isso? Como você interpreta essas diferenças de perspectivas ou de abordagens dentro da comunidade científica?
Alianças	9 - Que redes de colaboração você participou ao longo do desenvolvimento de sua pesquisa? De que maneira essas redes ampliaram as possibilidades de sua patente e sua tecnologia ser colocada em prática e de sua pesquisa ser divulgada?
	10 - Você teve alguma colaboração significativa de outras instituições, de pesquisa ou não, para o desenvolvimento de sua patente? Como isso influenciou o trabalho desenvolvido? Que tipos de parcerias você considera fundamentais para o sucesso de uma pesquisa como a sua?
	11 - Caso você tenha tido apoio de outras instituições, havia interesses diferentes entre os seus e os dessas instituições? Como vocês combinaram esses interesses no desenvolvimento da tecnologia?
	12 - Durante o processo de desenvolvimento dos sensores, como o apoio dessas instituições ajudou na superação de obstáculos técnicos ou financeiros? Você pode compartilhar exemplos disso?
Representação pública	13 - Como você entende o papel da divulgação científica no caso de sua patente? Você tem participado de eventos ou iniciativas

	para tornar seu trabalho mais acessível e compreensível para um público não especializado? Se sim, quais?
	14 - Qual é a sua percepção sobre a representação pública das mulheres negras na ciência, nas áreas da Física e da Engenharia? Você percebe que seu trabalho tem ajudado a mudar a percepção sobre a presença das mulheres nas ciências?
	15 - Em algum momento, você sentiu que a mídia ou outras formas de comunicação científica não divulgaram de maneira justa ou completa o impacto do seu trabalho? Como você reagiu a isso?
	16 - Ao ver seu trabalho sendo apresentado publicamente, você acredita que as questões de raça e gênero desempenham um papel na forma como sua pesquisa é recebida ou reconhecida? Como essas questões influenciam sua visibilidade dentro e fora da comunidade científica?
Vínculos e nós	17 - Quais foram as motivações que levaram você a desenvolver a patente dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis?
	18 - Como os sensores de radiação infravermelha podem contribuir para o desenvolvimento científico-tecnológico?
	19 - Que conhecimentos de Física estão envolvidos na compreensão da sua patente? Você considera que seja possível trabalhar esses conhecimentos em sala de aula? Em que nível de ensino?
	20 - Qual é a responsabilidade ética e social que você vê no uso de sua patente e nos sensores no que diz respeito a seu impacto nas comunidades e no meio ambiente?

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em virtude do tempo disponível para a entrevista, selecionamos determinadas perguntas que consideramos mais importantes para serem realizadas em um primeiro momento, quais sejam: 1, 3, 6, 8, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18 e 19. No entanto, à medida que a entrevista avançou, outras perguntas foram sendo incorporadas ao diálogo. Ao final, conseguimos contemplar todos os pontos planejados, uma vez que as respostas da cientista abordaram, direta ou indiretamente, cada uma das perguntas elaboradas.

A entrevista foi gravada (em áudio e vídeo) para garantir a precisão no registro das

informações. Em seguida, foi realizada a transcrição integral da entrevista. Para a análise dos dados, inicialmente realizamos uma leitura sistemática de toda a entrevista, de forma a destacar determinados trechos que se relacionavam com os circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos de Latour (2017).

Posteriormente, tomando como referência os principais tópicos abordados na entrevista, dedicamo-nos a descrever como se deu a participação de Guimarães no contexto de desenvolvimento da tecnologia que rendeu a ela a patente, articulando essa discussão aos referenciais teóricos. Em seguida, avançamos para a análise da produção dos sensores de radiação infravermelha, considerando como foram desenvolvidos, que humanos e não humanos participaram desse processo, também estabelecendo relações com os referenciais teóricos da pesquisa. Na sequência, abordamos a forma como a tecnologia foi divulgada, tendo em vista que se tratava de algo submetido a segredo de Estado. Mesmo seguindo essa organização, toda a análise foi construída de forma conjunta e articulada, pois, assim como nos ensina Latour (2017), os elementos relacionados a cada circuito não se separam, mas se entrecruzam e se sustentam mutuamente.

Por fim, cabe ressaltar que a pesquisa foi submetida e aprovada pelo Comitê de Ética do IFSC, sob o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética nº 88987225.5.0000.0185.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme propõe Latour (2017), “a única maneira de compreender a realidade dos estudos científicos é acompanhar o que eles [cientistas] fazem de melhor, ou seja, prestar atenção aos arranjos que eles estabelecem entre humanos e não humanos” (p. 39). Mesmo sabendo que, ao mencionar isso, Latour (2017) se refere a acompanhar os cientistas *in loco*, como isso não seria possível no caso em questão, optamos, como descrito anteriormente, por entrevistar Sonia Guimarães. Nossa intenção com isso foi alcançar os objetivos específicos da pesquisa, quais sejam: i) descrever informações relacionadas aos cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos, proposto por Bruno Latour, envolvidos no trabalho sobre sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis e ii) evidenciar implicações de questões de gênero e raça vivenciadas por Sônia Guimarães no processo de desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis.

A partir dos dados obtidos, percebemos que o desenvolvimento do fato científico em análise teve início em um contexto permeado por entraves e dificuldades. Como relata na entrevista, Sonia Guimarães foi transferida do ITA, instituição em que atuava como docente, para o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) em decorrência especialmente de um episódio de conflito relacionado à avaliação de seu trabalho na instituição. No IAE, foi designada para um projeto que se encontrava sem responsável, dando continuidade a uma pesquisa que estava em andamento. Segundo ela:

Eu fui expulsa por causa de 12 avaliações, eram 12 de 120 alunos. Por causa dessas 12 avaliações, eles me mandaram para o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). Eles me mandaram para lá para morrer cientificamente. Inclusive, o projeto no qual entrei, a pessoa responsável havia se aposentado, e não havia mais ninguém para continuar o trabalho¹⁹.

Em complemento a isso, Guimarães destaca o seguinte, ao ser questionada sobre o concurso que prestou para o ingresso no ITA:

A banca [era] só de homens brancos, tudo homem, tudo branco. Quem que eles vão escolher? Deixa eu te dizer, eu passei em segundo lugar no meu concurso para o ITA, não passei em primeiro. A pessoa que passou em primeiro não pôde assumir, então eu assumi. Essa pessoa, que entrou três anos depois [...] queria, naquela época, cancelar o concurso, já que tinha sido eu a ser aprovada. Porque imagina que ele ia aceitar eu dando aula no ITA. Então, ele tentou cancelar o concurso, mas eu fui admitida no dia 16 de fevereiro, e as aulas começavam em março, não dava tempo de fazer outro concurso. Então ele me engoliu por três anos, no terceiro ano ele entrou lá e me expulsou. E ninguém, ninguém fez nada pra me ajudar, ninguém, ninguém.

¹⁹ As falas da entrevistada serão grafadas em itálico para diferenciá-las do restante do texto.

De acordo com Olinto (2011), carreiras científicas de mulheres enfrentam barreiras institucionais concretas, como critérios de avaliação que não são aplicados de forma igualitária e mecanismos de reconhecimento que favorecem apenas determinados perfis. Nesse sentido, a transferência de Guimarães para uma outra instituição não parece ter sido um simples deslocamento administrativo. Podemos interpretar a situação como uma forma de penalização, que retirou a pesquisadora de um espaço acadêmico relevante, no qual realizava não só pesquisas, como também atuava na extensão e no ensino. Como ela relata em outro trecho da entrevista, replicado a seguir, isso acarretou inclusive em corte salarial e bloqueio de progressão em sua carreira, mesmo sem dispensá-la formalmente do serviço público.

[...] mas, inicialmente, eu acho que eles queriam só me matar cientificamente, e como eu não dava aula, eles se viram no direito de me cortar o salário; consegui um advogado, meu salário voltou ao normal, mas, durante mais de 10 anos que eu fui expulsa, eu nunca tive promoção profissional.

Cabe destacar que Rosa (2015) aponta que o racismo institucional atua justamente dessa maneira: isolando profissionais negros, retirando-lhes recursos, autonomia e possibilidades reais de continuidade de suas pesquisas. Ao explicar o que significa esse tipo de racismo, a autora o descreve como ações contínuas que desqualificam e isolam profissionais negros dentro das próprias estruturas que deveriam garantir condições de trabalho. No caso de Guimarães, enviá-la ao IAE “para morrer cientificamente” significava colocá-la em um ambiente sem projetos ativos, sem equipe e sem apoio, tornando praticamente impossível a continuidade de sua trajetória como pesquisadora. Esse tipo de prática pode ser entendida como racismo institucional, pois atua de maneira silenciosa dentro das decisões administrativas, produzindo efeitos como limitar, silenciar e dificultar o trabalho.

Após sua entrada no IAE, diferentemente do que imaginavam, ao invés de “morrer cientificamente”, a cientista se envolveu na pesquisa que resultou justamente no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis, que representa, no caso desta investigação, o circuito dos vínculos e nós. No entanto, por causa das questões relacionadas especialmente ao machismo e ao racismo vivenciados por ela, isso não se deu de forma tranquila, como mostraremos ao longo desta análise.

Com relação ao desenvolvimento desses sensores, é importante destacar inicialmente como Guimarães descreve seu funcionamento e aplicação tecnológica:

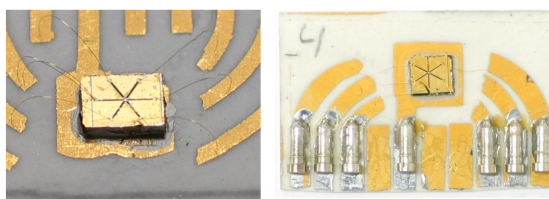
Um sensor de radiação infravermelha transforma o calor em energia elétrica. Essa energia é enviada para um computador, que interpreta as informações. No caso dos

mísseis, é assim que eles conseguem identificar qual avião devem seguir: o sensor ‘enxerga’ o calor do motor do avião, o computador indica a direção, e o míssil segue essa fonte de calor. Mas, se houver outro objeto com temperatura parecida, isso pode gerar confusão.

Vale frisar que, para a produção desses sensores foram necessários alguns elementos e materiais vinculados àquilo que costumamos chamar de natureza, a exemplo de nitrogênio líquido, gases nobres e purificados, antimoneto de índio e telureto de chumbo. Isso porque esses materiais eram essenciais para o trabalho com radiação infravermelha, fazendo parte de um processo de produção de dispositivos microeletrônicos, semelhantes a um chip (Figura 7). Como relatado pela cientista, *“isso aqui [indicado na Figura 7] já é a plaquinha para caracterizar, para ver se, ao receber a radiação, ele [o chip] realmente responde com energia elétrica para o computador”*. Ainda, segundo seu relato, essa “plaquinha” era posteriormente instalada nas cabeças de mísseis.

Figura 7 - Sensor de radiação infravermelha para cabeça de mísseis

Sensor montado em placa para caracterização



Fonte: Foto disponibilizada por Sonia Guimarães durante a entrevista.

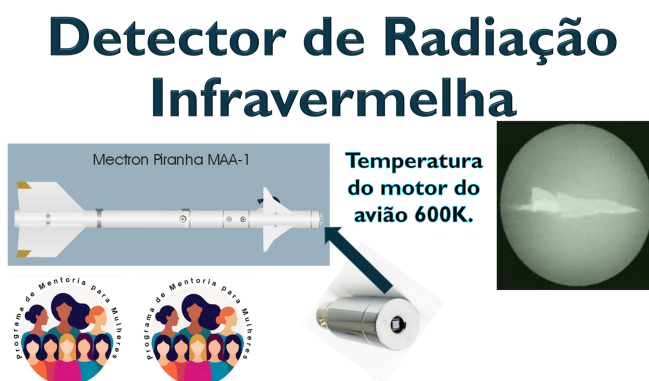
Entre as etapas do processo de produção dos sensores de radiação infravermelha, destaca-se o método do crescimento epitaxial, técnica amplamente utilizada na fabricação de dispositivos eletrônicos e microeletrônicos. Esse método consiste em depositar lentamente uma camada de material sobre um substrato, de modo que ambos mantenham a mesma cristalinidade e orientação cristalográfica²⁰ (Guimarães *et al.*, 2008). De acordo com a pesquisadora, *“você pode produzir cristais na cristalinidade que quiser, basta colocar o substrato onde vai crescer essa camada na orientação que te interessa”*. Como explica Sonia Guimarães, *“você coloca um substrato dentro de um forno e deixa esse forno cheio do material que quer crescer epitaxialmente. E faz isso muito lentamente. Para crescer um*

²⁰ Cristalinidade refere-se ao grau de organização dos átomos em uma estrutura periódica dentro de um material, enquanto a orientação cristalográfica diz respeito ao modo como esses planos cristalinos estão dispostos e alinhados no espaço. Esses fatores influenciam diretamente as propriedades eletrônicas e ópticas dos semicondutores utilizados por Sonia Guimarães (Guimarães *et al.*, 2008).

mícron [10⁻⁶ m], por exemplo, eu preciso de uma hora”. Esse controle rigoroso garante que o material crescido siga a orientação cristalina do substrato, formando uma estrutura uniforme, “como se fosse uma coisa só”.

O mesmo rigor observado no crescimento epitaxial se estende ao funcionamento dos sensores. Segundo a cientista, *“os sensores só funcionam a 75 Kelvin [-198,15°C], que corresponde à temperatura do nitrogênio líquido. Assim, para que funcionem corretamente, precisam ser resfriados e, por isso, devem ser encapsulados²¹”*. A Figura 8 demonstra como o sensor é encapsulado e a região do míssil em que ele é instalado.

Figura 8 - Sensor já encapsulado



Fonte: Foto disponibilizada por Sonia Guimarães durante a entrevista.

Essa necessidade de operar em temperaturas tão baixas está diretamente relacionada às características dos materiais semicondutores utilizados. Manea, Ilha e Rocco (2008), ao discutirem processos e condições de produção de dispositivos semicondutores, evidenciam justamente a importância do controle rigoroso de temperatura durante e após o crescimento do material. Os autores reforçam que a estabilidade térmica é um aspecto fundamental para garantir o funcionamento de sensores desse tipo. Assim, a fala de Guimarães demonstra que, além do crescimento epitaxial, o encapsulamento e o resfriamento não são detalhes periféricos, mas etapas indispensáveis para assegurar que o sensor opere dentro das especificações físicas necessárias.

As falas da cientista que abordam o funcionamento dos sensores, além de remeterem ao circuito da mobilização do mundo, posto que mostram como elementos da natureza são manipulados para um determinado fim, evidenciam a agência de não humanos no processo de

²¹ Processo de selar dispositivos semicondutores em invólucros herméticos capazes de protegê-los de contaminantes e permitir operação em condições extremas, como baixas temperaturas criogênicas exigidas por detectores infravermelhos (Guimarães *et al.*, 2008).

constituição do fato científico (Latour, 2017). Afinal, os sensores só operam sob determinadas condições de temperatura e a pesquisadora precisou adequar seu trabalho a essa exigência de um não humano. Da mesma forma, durante o crescimento epitaxial, precisou atender às demandas impostas pelos próprios materiais e equipamentos, que também participaram ativamente da produção científica. Isso exemplifica o que Latour (2017) propõe ao questionar “[...] de que modo se pode atrair esses tipos de objetos [os não humanos] para dentro do discurso?” (p. 55).

O relato de Guimarães também mostra que a produção científica depende de relações de cooperação entre pares que auxiliam a continuidade das pesquisas, aspecto que exemplifica o circuito da autonomização, conforme propõe Latour (2017). Ao comentar sobre o desenvolvimento dos sensores, a cientista relembra a colaboração de colegas e instituições que foram fundamentais, a exemplo de Joaquim Tavares de Lima e da Universidade Estadual Paulista (UNESP):

Aí eu tinha um grupo de professores da UNESP de Guará cooperando comigo e com esse meu amigo. Joaquim é o nome dele. Era. Bom, não, é o nome dele ainda. É esquisito, ele é morto, aí ele não chama mais Joaquim.

Entretanto, notamos que as questões relacionadas a esse circuito nem sempre operam de forma a auxiliar o desenvolvimento da pesquisa. Os relatos de Guimarães evidenciam que isso pode ser profundamente afetado por estereótipos e pela desvalorização de certas atribuições no ambiente científico. Nas palavras da pesquisadora, “[...] *eu nunca fui considerada física, porque minha vida inteira eu trabalhei com dispositivos microeletrônicos, trabalhei para eletrônica, trabalhei com material eletrônico*”. Como expresso em sua fala, apesar de sua formação e atuação na área da Física, seus pares deslegitimavam seu trabalho, por julgarem que pesquisas com semicondutores não pertenciam ao núcleo “duro” da disciplina, isto é, que a pesquisa experimental não era “Física”, mas sim, “Engenharia”.

Ao narrar essas vivências, a cientista aponta que a crítica dirigida a ela não se refere exatamente à consistência científica de seu trabalho, mas às atribuições que são culturalmente definidas para um físico:

Esses físicos poderosos, que se sentem em [um] prêmio Nobel, só fazem teoria. Então, o meu trabalho para eles não é valorizado, eles querem mais que eu me dane [...] Eles não me chamam física, eles me colocam numa posição, “Não, ela não é muito física, ela é meia engenheira”, e não, é pura física. [...] E, se você quer saber, os semicondutores são os responsáveis por toda a inovação tecnológica de hoje.

Nesse ponto, sua fala explicita o caráter construído e disputado do que conta ou não como Física. Isso ilustra as negociações constantes no ambiente científico, no qual diferentes

atores buscam definir legitimidades e estabilizar fronteiras disciplinares, o que remete ao circuito da autonomização.

Quando analisamos as questões mencionadas a partir da perspectiva de Latour (2017), podemos perceber que a produção científica envolve também disputas relacionadas ao próprio campo de conhecimento. Nesse sentido, a deslegitimação que Guimarães enfrenta decorre também de uma hierarquização histórica que define que práticas científicas são consideradas mais “puras” ou dignas de prestígio. Isso remete ao que afirma Freire (2015) sobre o fato de que, desde a institucionalização da Física no Brasil, as questões teóricas conquistaram um lugar superior na hierarquia da disciplina, em comparação com pesquisas experimentais e aplicadas. Esse aspecto se reflete no seguinte relato de Sonia: *“eu quero resultado, eu quero coisas, eu quero um sensor de radiação infravermelha. E isso para eles não é fazer física, é fazer tecnologia, que é menos, entendeu? Fazer tecnologia para eles é menos”*. Conforme Domingues (2016) aponta, há a persistência do mito do “cientista puro”, que contribui para reforçar a ideia de que apenas a produção teórica seria portadora de um conhecimento verdadeiramente fundamental.

Além disso, a cientista demonstra como o gênero e a raça atravessam essas dinâmicas de reconhecimento do seu trabalho, tornando o desenvolvimento da tecnologia em questão ainda mais complexo. Como ela mesma afirma: *“[...] a crítica deles é porque eu sou mulher e não sou branca, não era para eu ter conseguido... Era para eu ter falhado”*. Assim, mesmo ao produzir resultados muitas vezes superiores aos esperados, esse reconhecimento foi tensionado por preconceitos estruturais (Silva; Massino; Alves-Brito, 2024). Com uma certa ironia, ela aponta: *“[...] eu consegui valores melhores porque existia um projeto, e eles tinham uma ideia de quais os resultados que eu deveria conseguir. Eu consegui melhores”*.

As falas de Sonia Guimarães exemplificam como costumam funcionar os mecanismos de exclusão dentro das instituições científicas (Arteaga; Silva; Oliveira, 2015). Quando ela afirma que *“não me olham na cara, não falam comigo”*, ela descreve práticas cotidianas de hostilidade que não são acidentais; pelo contrário, são estratégias eficazes de isolar, deslegitimar e empurrar a pesquisadora para fora das redes que sustentam a produção científica. Isso também é evidente em outra fala da cientista: *“[...] quatro [pessoas], em vinte, me tratam como se eu fosse um ser humano. Só. O resto me trata como se eu fosse um... Sabe uma coisa bem... Uma barata. Eu odeio barata. Uma barata que eles têm que ver todo dia e têm que aguentar, não podem matar essa barata”*. Longe de ser um caso isolado, o que Guimarães descreve corresponde justamente ao tipo de dinâmica que Rosa (2015) identifica como racismo institucional. Essa situação expressa, para além da metáfora, um modo de

desumanização. É uma forma de violência sustentada e legitimada pela própria estrutura institucional, que costuma não intervir e, muitas vezes, incentiva esse tipo de prática por causa disso. O que se observa no caso de Sonia Guimarães é uma espécie de engenharia social da exclusão funcionando de maneira sistemática e planejada, que impõe barreiras para continuidade da trajetória científica de uma pesquisadora negra dentro de uma estrutura que deveria sustentá-la (Gomes, 2022).

Vale frisar que, quando se impede que uma pesquisadora participe das conversas, dos projetos e das trocas cotidianas, como fica evidente em seus relatos, se dificulta o estabelecimento de conexões necessárias para que seu trabalho circule e se estabilize. Isso se reflete, por exemplo, na falta de reconhecimento, inclusive com relação à obtenção de sua patente. Como relata a pesquisadora:

Deixa eu te dizer: ter uma patente é algo muito importante. Existe uma reunião oficial, e o reitor te entrega o documento da patente [...]. Mas eu nunca recebi esse convite [...]. Eu só fiquei sabendo que a minha patente tinha sido concedida porque o gerente do meu projeto me contou [...]. “Tua patente saiu”. Você entende a minha situação?

A falta de convite para a cerimônia de entrega do documento referente à sua patente parece funcionar como uma forma de controle que regula quem pode ocupar espaços de prestígio. Com base em fatos como este é possível argumentar que o desenvolvimento de sua pesquisa, que envolveu a articulação de materiais, laboratórios, instituições, financiamentos, etc., não se converteu em reconhecimento pelo menos entre os seus pares. Uma hipótese para isso é que a ciência opera, em geral, em um campo estruturado por desigualdades históricas que já estabelecem, antecipadamente, quais atores e práticas terão maior legitimidade (Destácio; Moreira; Ferreira, 2021).

Frente ao exposto, podemos dizer que o circuito da autonomização, proposto por Latour (2017), pode ser atravessado por diferentes problemáticas, que impactam tanto a produção e a circulação da pesquisa quanto, no caso em análise, o modo como a carreira de uma mulher negra é percebida dentro da comunidade científica.

Mesmo em um contexto permeado de barreiras como as supracitadas, foi possível manter a pesquisa em andamento e consolidar os estudos sobre os sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, que, como falado anteriormente, representa o circuito dos vínculos e nós nesta investigação. Uma contribuição importante para que isso ocorresse foi a do colega Joaquim Tavares de Lima. Ao discorrer sobre essa contribuição, a cientista destaca a tese de doutorado desenvolvida por ele vinculada à pesquisa com os sensores de

radiação infravermelha. Um fato curioso sobre essa tese é que, segundo Guimarães, ela permanece até hoje sob sigilo na UNESP.

[...] esse nosso trabalho resultou na tese de doutorado dele, que é guardada em segredo nos computadores e na biblioteca fechada, trancada, da UNESP de Guaratinguetá. Porque, nessa tese, ele teve que dizer tudo o que a gente desenvolveu e tudo o que a gente fez, mas só estávamos eu, o orientador dele e a banca. E a banca assinou um documento se comprometendo a nunca revelar nada daquilo que foi feito.

O sigilo mencionado pela pesquisadora não se restringe à tese, mas abrange muitos aspectos relacionados aos sensores de radiação infravermelho para cabeças de mísseis. Como a própria cientista afirma, “a mídia não é nem informada. Nada, nada, silêncio”. Além disso, ela relata que “*não pode falar os valores, as características pode, isso é finito, não pode mais nada*”, indicando que há limites rigorosos estabelecidos sobre o que pode ser divulgado. Ela também explica que, em suas publicações e em outros lugares voltados ao público, fala “[...] *das técnicas de crescimento de cristais, [...] do material, mas isso aí não é novo, tá?*”, revelando que somente aspectos já conhecidos ou não sensíveis podem ser publicados, como acontece em seu artigo sobre o tema²². Em seguida enfatiza: “*fora essa parte, todo o resto não, tudo quietinho, quietinho, quietinho, quietinho*”.

Como fica evidente, o desenvolvimento e uso da tecnologia está envolto em sigilo de Estado, uma vez que se trata de um projeto voltado à área de defesa do país. Por essa razão, não é possível divulgar detalhes sobre o processo de produção dos sensores e sua utilização, apenas alguns resultados obtidos a partir da pesquisa. Exemplos disso aparecem em participações da pesquisadora em entrevistas em programas televisivos e *podcasts*, entre eles o *Provoca*,²³ apresentado por Marcelo Tas, e o *podcast Naruhodo!*²⁴, apresentado por Ken Fujioka e Altay de Souza. Neles, a pesquisadora comenta, de forma geral, sobre o funcionamento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis, explicando que eles operam em temperaturas muito altas, são encapsulados e integrados a sistemas de rastreamento de precisão. Nessas ocasiões, ela reforça que não pode revelar etapas ou procedimentos específicos, justamente por se tratar de tecnologia militar protegida por sigilo.

²² O referido artigo, de autoria de Sonia Guimarães, Joaquim Tavares de Lima, José Carlos Petoilho, Emerson Ferreira de Lucena, Míriam Kasumi Hwang e Élon Campos, é intitulado *Modified LPE system used to diffuse Cd to obtain InSb infrared detector*. Foi publicado na Revista Journal of Crystal Growth em 2008. Cabe apontar que Sonia Guimarães assume a primeira autoria do artigo.

²³ Disponível em: <https://youtu.be/Jyw1RYpzfRE?si=kPVKfjvpwbVCCvtI>. Acesso em: 22 nov. 2025.

²⁴ Disponível em: <https://www.b9.com.br/shows/naruhodo/naruhodo-entrevista-53-sonia-guimaraes/>. Acesso em: 22 nov. 2025.

Essa situação permite refletir sobre o circuito da representação pública descrito por Latour (2017), que corresponde à circulação do conhecimento científico para além dos limites do laboratório, adquirindo legitimidade fora de seu contexto de produção. Nesse caso, diferentemente do que ocorre em grande parte das pesquisas, a circulação das informações, como dito anteriormente, é controlada e restrita justamente por se tratar de um segredo de Estado. Vale frisar que a rede relacionada à patente obtida por Guimarães permaneceu unida e amarrada, ainda que com a circulação restrita de algumas informações devido ao sigilo.

No que tange às instituições importantes para o desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis, Guimarães cita o IAE, local em que os sensores foram efetivamente desenvolvidos, bem como a UNESP, local em que ela contava com um grupo de pesquisadores que compunham sua rede de colaboração científica: ambas instituições que podem ser vinculadas ao circuito da autonomização. Mas, há ainda uma instituição de destaque nesse processo: o Ministério da Defesa. Diferentemente das demais, sua participação se insere no circuito das alianças, pois esse circuito engloba os atores que oferecem apoio político, financeiro, estratégico, etc. para que a pesquisa avance, mas não estão ligados diretamente à área científica. Esse circuito não se restringe às instituições formais, mas inclui também as alianças construídas ao longo do processo, envolvendo pessoas, grupos e organizações que passam a sustentar e legitimar o trabalho científico. Como explica Latour (2017), o avanço de uma pesquisa depende justamente da articulação de diferentes apoios.

Esse ministério desempenhou papel decisivo ao fornecer os recursos financeiros e materiais necessários para a realização da pesquisa. Ela mesma descreve essa colaboração, deixando evidente que a questão financeira, que costuma ser uma dificuldade encontrada na realização de investigações, sobretudo no caso das realizadas por mulheres (Oliveira, 2021), não foi um problema:

Ministério da Defesa, na parte de Aeronáutica, né? Porque a Defesa é Exército, Marinha e Aeronáutica. O Ministério da Defesa, não vou lembrar agora qual é a sigla, que foi que deu todo o dinheiro e foi muito dinheiro, muito, muito, muito.

Nesse ponto, podemos observar como o circuito das alianças, conforme proposto por Latour (2017), atua de maneira decisiva. A participação do Ministério da Defesa, mais especificamente de sua divisão da Aeronáutica, adicionou contribuições as quais reforçaram a rede científica relacionada aos vínculos e nós em questão, isto é, os sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, tecnologia desenvolvida por Sonia Guimarães junto com outros humanos e não humanos. A cientista destaca também o suporte logístico e técnico

que recebeu dessa instituição: “a Aeronáutica mandou um caminhão lá para pegar o equipamento, aí veio uma outra pessoa também, lá dessa empresa, montar o laboratório para mim, lá no IAE. Então, a colaboração foi total, o material estava lá”.

Nesse sentido, é importante salientar que Latour (2017) observa que a produção científica tende a atrair o interesse de diferentes setores sociais. Um dos exemplos citados pelo autor, ao abordar o caso da fissão nuclear, é justamente o interesse do setor militar naquela pesquisa. Ao explorar esse exemplo, ele nos mostra que o desenvolvimento da ciência não ocorre de forma neutra ou desinteressada, o que podemos ver também nesse caso. Será que haveria tanto dinheiro e apoio se o Estado não estivesse interessado nos resultados da pesquisa? Se ela envolvesse outra temática que não a bélica? De fato, o interesse na construção dos sensores foi potencializado, uma vez que se tratava de um projeto voltado ao Ministério da Defesa.

Desse modo, isso explica, em grande parte, a disponibilidade de recursos e o apoio oferecido por instituições governamentais para o desenvolvimento da investigação e, conseqüentemente, para a obtenção da patente. O interesse da pesquisadora se articulou ao interesse do Estado, como ressalta Latour (2017) ao afirmar que, muitas vezes, “sendo impossível para qualquer dos envolvidos alcançar separadamente seus objetivos, a pureza política e científica torna-se inútil, e o melhor a fazer é negociar um acordo que modifique a relação entre seus objetivos” (p. 106). Assim como no exemplo da fissão nuclear, “fatores puramente políticos ou econômicos juntam-se aos fatores puramente científicos” (Latour, 2017, p. 109), configurando alianças que sustentam e impulsionam a pesquisa científica.

Nesse contexto, a cientista discorre sobre ter sido questionada por estar envolvida em um projeto de natureza bélica. Em relação a isso, ela relata:

Eu escutei nas minhas palestras: “Sônia, você é a favor da guerra?”. Não é questão de guerra, é defesa. Se alguém te atacar, você tem que ter uma forma para se defender, porque senão fica essa coisa que está acontecendo lá do outro lado do mundo. Os palestinos não têm nada, eles não têm nenhuma forma de defesa bélica, ou pouquíssima, porque eles recebem o apoio dos parceiros deles. Por outro lado, Israel tem o parceiro lá de cima, o senhor; o senhor, senhor, que tem tudo o que é possível bélico. Então, não convém o Brasil ficar desarmado, tem que estar armado, tem. Eu costumo brincar nas minhas palestras, a gente não sabe quando que a Argentina vai atacar a gente.

Esse relato, bem como outras falas de Guimarães, evidenciam que seu trabalho não está separado das dimensões políticas, mas é constituído dentro de uma rede em que decisões estratégicas, interesses governamentais e práticas científicas operam simultaneamente. É possível observar que, por ser uma mulher negra atuando em um campo historicamente masculinizado, a pesquisadora enfrenta questionamentos que ultrapassam a dimensão técnica

de sua pesquisa, revelando tensões estruturais associadas ao gênero e ao poder no espaço científico a partir das experiências narradas pela própria pesquisadora. Essa desigualdade também aparece nas reações à presença de mulheres em projetos da área militar. Nessas situações, a participação dos homens é algo naturalizado, enquanto a presença das mulheres nesses espaços ainda gera desconfiança e questionamentos. Isso mostra que o ambiente científico continua reproduzindo diferenças e hierarquias de gênero (Almeida, 2019).

Ao mencionar “[...] o parceiro lá de cima, o senhor, o senhor, senhor, que tem tudo o que é possível bélico”, inferimos que Guimarães faz uma referência aos Estados Unidos, possivelmente aludindo à figura de Donald Trump, conhecido por reforçar suas alianças militares com Israel e ampliar os investimentos em tecnologias de defesa (Friedman, 2018). Essa fala mostra que a pesquisadora tem consciência das relações de poder que envolvem a ciência e da forma como o desenvolvimento tecnológico está ligado a interesses políticos e econômicos globais. Segundo Latour (2017), a produção científica depende dessas redes de alianças formadas por governos, instituições e financiadores que conectam ciência, política e economia. Assim, o discurso da cientista não apenas explica a natureza de seu trabalho, mas também evidencia que a ciência faz parte de um conjunto de disputas e cooperações que vão muito além do laboratório, mostrando que o fazer científico nunca é totalmente neutro.

Chegar ao quinto circuito, isto é, aos vínculos e nós, como nos ensina Latour (2017), não significa finalmente acessar o conteúdo principal, como se os quatro circuitos anteriores (mobilização do mundo, alianças, autonomização e representação pública) fossem apenas etapas preliminares para sua existência. Afinal, desde o primeiro circuito, já estamos diretamente imersos no universo dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis. Mas o que ocorreria com a produção dessa tecnologia se os demais circuitos não estivessem presentes? Sem eles, as substâncias químicas, os equipamentos do laboratório, as técnicas de crescimento epitaxial não seriam acionados; Sonia Guimarães, Joaquim e o grupo de professores da UNESP acabariam se dispersando; o Ministério da Defesa perderia o interesse na pesquisa; e o público em geral ficaria sem saber qualquer informação, justamente porque essa tecnologia sequer chegaria a ser produzida.

Embora os sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis sejam relevantes por si só, Latour (2017) nos mostra que analisá-lo isoladamente não é suficiente. Para compreendê-lo plenamente, é necessário observar como esse conhecimento se organiza como centro de uma rede. Levando em consideração como Latour (2017) descreve o circuito dos vínculos e nós, podemos imaginar os sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis circulando entre os diversos elementos que precisam permanecer articulados para que

eles existam: instrumentos e técnicas mobilizados, colegas e colaboradores, instituições militares, público em geral, etc. Manter todos esses atores conectados é fundamental para o desenvolvimento e a manutenção do fato científico em questão. Até porque, como destaca Latour (2017), um conceito não se torna científico por se afastar do que o cerca, mas por se articular de maneira mais estreita com um repertório muito maior. Dessa forma, o quinto circuito desempenha um papel essencial para fortalecer o fluxo do conhecimento, conferindo profundidade, coerência e sentido ao integrar, de forma dinâmica, todas os demais circuitos (Latour, 2017).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo central investigar aspectos relativos à trajetória de Sônia Guimarães, a fim de contar uma história sobre seu trabalho no desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis, com base em uma perspectiva naturezas-culturas. Nesse sentido, realizamos uma entrevista com a cientista a partir de perguntas que contemplaram os cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos proposto por Bruno Latour, bem como analisamos as respostas dessa entrevista com base nos referenciais teóricos da investigação. Esses procedimentos metodológicos permitiram demonstrar que os sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis são fruto de uma rede complexa. Os elementos químicos, os equipamentos do laboratório, os conhecimentos técnicos, Sonia Guimarães, a tese de Joaquim, os colegas, o IAE, a UNESP, o Ministério da Defesa, etc. possibilitaram a criação dos sensores de radiação infravermelha, que representa, nesta investigação, o circuito dos vínculos e nós proposto por Latour (2017). Cada ator, humano ou não humano, teve um papel importante para que a radiação infravermelha pudesse ser transformada em sinais detectáveis e úteis em um sensor para fins militares, mostrando que a ciência é resultado de um trabalho coletivo e de muitas interações.

Ao mesmo tempo, os referidos procedimentos metodológicos possibilitaram evidenciar como questões de gênero e raça atravessam a produção científica, a exemplo do racismo institucional, que impactou diretamente o acesso à legitimidade e à visibilidade de Sonia Guimarães, uma pesquisadora negra.

Cabe destacar que, quando esses processos são comprometidos, seja por seletividade de prestígio, hierarquias disciplinares, machismo, racismo estrutural ou outras dinâmicas de exclusão, o próprio fato científico pode ter seu desenvolvimento ameaçado. Desse modo, compreender a contribuição de Guimarães exigiu olhar para além do dispositivo tecnológico que ela ajudou a criar; exigiu reconhecer as redes, os conflitos, as alianças e as barreiras que atravessaram sua prática científica. Afinal, é nesse entrelaçamento entre produção científica e dinâmicas sociais, ou, dito de outro modo, entre natureza e cultura, que se constituíram tanto o sensor de radiação infravermelha para cabeça de mísseis quanto parte da própria trajetória da pesquisadora.

Além de contribuírem para a compreensão do processo de desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis, as falas de Sonia Guimarães revelaram um potencial significativo do seu trabalho para o ensino de Física, em especial no

Ensino Médio. Ao explicar que *“o sensor só faz transformar a radiação infravermelha em energia elétrica, que é a mesma base das células solares”*, a cientista articula sua pesquisa com conceitos de Eletricidade, Termologia e Ondulatória, o que pode facilitar uma abordagem integrada entre Física Moderna e tecnologias contemporâneas em sala de aula. Ademais, fazer essa abordagem a partir desse fato científico pode auxiliar professores a aproximarem conteúdos de Ciências com pesquisas realizadas com a participação de atores brasileiros, mais especificamente de mulheres brasileiras negras, tornando, quiçá, a Física mais concreta, contextualizada e significativa.

Os exemplos apresentados por Guimarães, como o termômetro infravermelho usado na pandemia, a detecção de pontos quentes na fiação elétrica de longa distância e os óculos de visão noturna demonstram como os sensores infravermelhos estão presentes em situações cotidianas, podendo ser associados à realidade dos estudantes. Segundo a cientista, *“[...] a diferença [entre os sensores] está na faixa de comprimento de onda que cada sensor consegue detectar [...] Cada material vê um intervalo de comprimento de onda”*. Isso implica na possibilidade de explorar a Física e a Ciência dos Materiais, algo que pode ser interessante no sentido de promover um ensino mais conectado ao mundo contemporâneo.

Outro aspecto importante revelado por suas falas é a dimensão humana da ciência. Ao afirmar que *“eu gosto muito do que eu faço, sinto muito, eu gosto, apesar de todas as críticas”*, a pesquisadora humaniza a figura da cientista. No contexto escolar, esse elemento é fundamental, pois pode ajudar a romper com a imagem impessoal, masculina e distante do “cientista idealizado”, permitindo que estudantes, especialmente meninas e pessoas negras, se enxerguem como possíveis integrantes da produção científica.

Por esses, e por diversos outros motivos, abordar no ensino de Física fatos científicos como o enfocado nesta pesquisa não é apenas um gesto de reconhecimento histórico, mas uma estratégia pedagógica que pode contribuir para democratizar o acesso ao conhecimento, ampliar repertórios e combater estereótipos que afastam muitos estudantes das áreas científicas. Ao apresentar Sonia Guimarães como referência, o ensino de Física pode se aproximar de histórias reais de produção de conhecimento no Brasil, valorizando saberes produzidos em nosso país, ampliando as possibilidades formativas dentro da escola.

Por fim, cumpre salientar que, ao tomar como referência os cinco circuitos do Sistema Circulatório dos Fatos Científicos (Latour, 2017), esta pesquisa intentou mostrar que é possível contar uma história científica que não separe o técnico do social, o laboratório da instituição, os humanos dos não humanos. Pelo contrário, os sensores de radiação infravermelha para cabeça de mísseis discutidos nesta pesquisa só existem, porque esses

elementos se articulam em rede, na forma de materiais semicondutores, temperaturas criogênicas, financiamentos, bancadas de laboratório, decisões administrativas, relações profissionais, disputas por reconhecimento, etc. Assim, nos pareceu possível ratificar a proposta de Latour (2017) de que os fatos científicos são produzidos por coletivos de híbridos que atuam conjuntamente.

Desse modo, consideramos que esta pesquisa cumpriu seus objetivos ao analisar o desenvolvimento dos sensores de radiação infravermelha para cabeças de mísseis e as implicações de gênero e raça vivenciadas por Sônia Guimarães nesse processo. A história aqui enfocada reafirma que a ciência é coletiva, situada e atravessada por múltiplas dimensões e que contar essa história pode ser uma forma de contribuir para a valorização de conhecimentos produzidos por mulheres negras na ciência brasileira.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Jane Soares. **Mulheres nas ciências: trajetórias, desafios e conquistas**. São Paulo: Cortez, 2019.
- ARTEAGA, Carolina; SILVA, Ana Paula; OLIVEIRA, Fernanda. **Epistemologias dissidentes: gênero e raça na produção científica**. São Paulo: Editora Afrontamento, 2015.
- ANDRADE, Tânia Gisele Vieira; PESSOA, Valéria Maria Alves; MIRANDA, Vanessa Souza; OLIVEIRA, Rita de Sá. Qual o lugar da mulher negra nos estudos da academia? Uma investigação da produção *stricto sensu* sobre a mulher negra no Brasil. **Plural**, v. 31, n. 1, p. 31–50, 2024.
- AZEVEDO, Jacson Santos; PIOL, Sântia Mara. Uma sequência didática decolonial para turmas de física calcada na inserção de cientistas negros e negras. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 230071–1, set. 2023.
- BARROS, Suzane Carvalho da Vitória; MOURÃO, Luciana. Panorama da participação feminina na educação superior, no mercado de trabalho e na sociedade. **Psicologia & Sociedade**, Recife, v. 30, p. e174090, 2018.
- BATISTA, Kassius Kennedy; GAMA, Alexandre de Oliveira. Desnaturalização das representações de gênero, raça e etnia na escola. In: **PROCESSOS E PRÁTICAS DE ENSINO NO IFTM: a inclusão e a diversidade**. Minas Gerais, 2019. p. 76-87.
- CABRAL, Claudiana Aparecida Bezerra. Narrativas codificadas: as histórias que as mulheres negras atuantes em ambientes de produção de tecnologia digital desejam contar. In: Simpósio Internacional LAVITS, 6., 2019, Salvador. **Anais [...]**. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 2019.
- CARNEIRO, Sueli. **Racismo, sexismo e desigualdade no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Selo Negro, 2020.
- CARTAXO, Sandra Maria Carlos. **Gênero e ciência: um estudo sobre as mulheres na física**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CIPRIANO, Iolanda Ferreira; SEVERI, Fabiana Cristina; PIRES, Tânia Regina Oliveira. Epistemologia feminista negra: um olhar interseccional sobre o encarceramento de mulheres negras. **Revista Brasileira de Política Criminal**, v. 11, n. 2, p. 1–22, 2020.
- CHASSOT, Attico Inácio. Ciência é masculina? É, sim senhora!... **Revista Contexto & Educação**, Ijuí, v. 19, n. 71-72, p. 9-28, mai. 2013.
- CHYZANOWSKI, Krzysztof. **Non-Contact Thermometry**. Measurement Errors. 7. Ed. Varsóvia, 2001.
- CORTES, Mariane Rodrigues. **Mulher na ciência: “Ciência também é coisa de mulher!”**.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2018.

DESTÁCIO, Kátia; MOREIRA, Maria Ignez; FERREIRA, Letícia (orgs.). **Mulheres e meninas na ciência: desafios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2021.

DESCOLA, Philippe. **Outras naturezas, outras culturas**. São Paulo: Editora 34, (Coleção Fábula, v. 34). 2016.

DOMINGUES, Ivan. **O filósofo e o cientista: ensaios de filosofia e história da ciência**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

EPPELDAUER, George P.; HARDIS, Jonathan E. Fourteen-decade photocurrent measurements with large-area silicon photodiodes at room temperature. **Applied Optics**, Washington, v. 30, n. 22, p. 3091–3099, 1991

FARIAS, Juliana; SILVA, Luana. **Interseccionalidade na ciência: raça, gênero e classe**. Belo Horizonte: Autêntica, 2024.

FARY, Bruna; ASSAI, Natany Dayani de Souza. **Um olhar para a Ciência no Feminino: implicações, movimentos e projeções**. In: Encontros de Debates sobre o Ensino de Química, 42., 2023, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

FREIRE JÚNIOR, Olival. **A história da física no Brasil contemporâneo: instituições, práticas e políticas científicas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

FRIEDMAN, George. **The Trump Doctrine and American Foreign Policy**. Geopolitical Futures, 2018.

GAMA, Alexandre de Oliveira; BATISTA, Kassius Kennedy. Desnaturalização das representações de gênero, raça e etnia na escola. In: **Processos e Práticas de Ensino no IFTM: a inclusão e a diversidade**. Uberaba, MG: Instituto Federal do Triângulo Mineiro, 2019. p. 76–87.

GAT, Nahum; SUBRAMANIAN, Suresh; ROSS, Steve; LABAW, Clayton C.; TOOMARIAN, Nasser. Thermal Infrared Imaging Spectrometer (TIRIS) status report. In: Proceedings of SPIE - **The International Society for Optical Engineering**, Orlando, v. 3061, p. 42–51, 1997.

GOMES, Stephanie Silva Weigel *et al.* **Alice Ball: uma biografia para a divulgação da ciência feminina negra e para possibilidades de discussão da história e filosofia**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2022.

GRIMM, Alice Marlene. **A atmosfera terrestre: composição e estrutura**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1999. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>.

Acesso em: 19 maio 2025.

GUIMARÃES, Livia de Oliveira; PASSOS, Joana Célia. Propostas Didáticas Antirracistas para Educação em Ciências. **Revista Educação, Cultura e Sociedade**, Sinop, v. 10, n. 1, p. 304-310, jan./jun. 2020.

GUIMARÃES, Sônia *et. al.* Modified LPE system used to diffuse Cd to obtain InSb infrared detectors. **Journal of Crystal Growth**, v. 310, n. 7-9, p. 1657-1663, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 10. ed. Volume 3. São Paulo: Editora LTC, 2018.

HEWITT, Paul Gordon. **Fundamentos de física**. 10. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2017.

HOBBS, Philip C. D. **Thermal infrared imager**. In: ORBAN, Peter E. (Ed.). Sensors and controls for intelligent manufacturing II. Proceedings of SPIE, Bellingham, v. 4563, p. 42–51, 2001.

HOOKS, bell. **Ensinando a transgredir: a educação como prática da liberdade**. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2013.

HUDSON, Richard Dillon Jr. **Infrared system engineering**. New York: John Wiley and Sons Inc., 1969.

LATOUR, Bruno. O fluxo sanguíneo da ciência: Um exemplo da inteligência científica de Joliot. In: LATOUR, Bruno. **Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos**. São Paulo: Editora Unesp, p. 97-133, 2017.

LETA, Jacqueline, As mulheres na ciência brasileira: crescimento, contrastes e um perfil de sucesso. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 49, p. 1-14, 2003.

LIMA, Camila Rodrigues Neves de Almeida. Gênero, trabalho e cidadania: função igual, tratamento salarial desigual. **Revista Estudos Feministas**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. e47164, 2018.

LIMA, Mariana. **Mulheres nas ciências exatas: desafios e conquistas**. Porto Alegre: Zouk, 2018.

LIMA, Ana Cláudia Rodrigues; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José. *A epistemologia de Bruno Latour e suas implicações para o ensino de ciências*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 728–751, 2018.

LOPES, Maria Margaret. **Aventureiras nas ciências: refletindo sobre as mulheres e a história das ciências no Brasil**. Cadernos Pagu, n. 10, p. 345–369, 1998.

MALDAQUE, Xavier Pierre Vavasseur; MOORE, Terry. **Introduction to infrared thermography**. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. 1. ed. New York: Wiley, 2001.

MANEA, Sílvio; IHA, Koshun; ROCCO, José AFF. Termografia Infravermelha:: aplicações em defesa. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 23, 2008.

MICHA, Daniel Neves; PENELLO, Germano Maioli; KAWABATA, Rudy Massami Sakamoto; CAMAROTTI, Teo. “**Vendo o invisível**”. Experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, p. 1501-1506, 2011.

MONTEIRO, Edivania Santos; FANAIA, Maria Luiza. Mulher negra: uma abordagem historiográfica. **Fórum Identidades**, v. 28, p. 149–161, 2018.

NICOLACI-DA-COSTA, Ana Maria. **A prática da pesquisa qualitativa**: histórias que ensinam. Rio de Janeiro: Penso, 2007.

NUNES, Polliane Trevisan; WANDERER, Fernanda. Mulheres de sucesso no campo científico: uma análise de redes sociais. **Revista Estudos Feministas**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. e 68120, 2021.

OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

OLINTO, Gilda. A inclusão das mulheres nas carreiras de ciência e tecnologia no Brasil. **Inclusão Social**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 68–77, jul./dez. 2011.

OLIVEIRA, Amurabi Magalhães Ferreira de; RODRIGUES, Quemuel Batista de; PEQUENO, Mayres Pessoa. **Gênero e desigualdade na academia brasileira**: uma análise a partir dos bolsistas de produtividade em pesquisa do CNPq. *Configurações*, v. 27, p. 75–93, 2021.

OLIVEIRA, Karoline Gonzaga. Radiação infravermelha e suas aplicações: uma proposta didática de mediação baseada na aprendizagem criativa com utilização de Arduino. 2022. **Dissertação (Mestrado em Ensino de Física)** – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Vitória, 2022.

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, p. 1–11, 2014.

PINHEIRO, Bárbara Carine Soares. Educação em Ciências na Escola Democrática e as Relações Étnico-Raciais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 329-344, ago. 2019.

PINHEIRO, Lúcia; ROSA, Wilma. **Desigualdades de gênero e raça no Brasil contemporâneo**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018.

REIS, Vanessa Jamile Santana. **A invisibilidade do feminismo negro nos instrumentos de representação do conhecimento: uma abordagem de representatividade social**.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 196 p. 2019.

RIBEIRO, Rita de Cássia. A escrita feminina negra como enfrentamento e transgressão. **Revista Teias**, v. 21, n. 1, p. 1–17, 2020.

RIBEIRO, Camila Cristina Alves *et al.* Mulher, negra e pobre: como o racismo estrutural incide na falta de oportunidade de mulheres negras no vínculo empregatício no Brasil. In.: Congresso de Iniciação Científica da UNIFIO. 22., 2023. **Anais [...]**. Ourinhos: Centro Universitário de Ourinhos.

ROSA, Ana. **Ciência e relações raciais**: o lugar das mulheres negras. Salvador: EDUFBA, 2015.

ROSA, Katemari Diogo. Sonia Guimarães. **Revista da Associação Brasileira De Pesquisadores/as Negros/As (ABPN)**, Goiânia, v. 12, n. 33, p. 745–749, 2020.

ROSSITER, Margaret W. **Women Scientists in America**: Struggles and Strategies to 1940. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1993.

SAID, Taisa Maria Sacramento. **A primeira doutora negra em química na Bahia**: Djane Santiago de Jesus. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 91 p., 2023.

SANTANA, Carolina Queiroz. **Gênero, ciência e história**: reflexões para escrita de história de mulheres nas ciências. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 92 p. 2021.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **O fim do império cognitivo**: a afirmação das epistemologias do Sul. Belo Horizonte: Autêntica, 2020.

SANTOS, João. **Ambientes virtuais e inclusão global**: novas perspectivas educacionais. São Paulo: Editora Educação Digital, 2024.

SERWAY, Raymond Arthur; JEWETT JR., John Wesley. **Princípios de Física**: Óptica e Física Moderna. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. v. 4.

SILVA, Anderson Amorim Santos. **Enxergando o calor**: sequência didática potencialmente significativa para o ensino de radiação infravermelha explorando uma câmera termográfica de baixo custo. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)- Salvador, Bahia: Universidade do Estado da Bahia, 2022.

SILVA, Fabiane Ferreira. **Mulheres na ciência**: Vozes, tempos, lugares e trajetórias. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, 149 p. 2012.

SILVA, Isadora Santos da; MASSONI, Neusa Teresinha; ALVES-BRITO, Alan. História e Conhecimento Experiencial de Pessoas Negras na Física e nas Ciências: Uma Revisão da

Literatura. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. 272-290, 2024.

SILVA, Mariana Aparecida Ferreira. Mulheres negras acadêmicas: temos nomes e ocupamos as universidades. **Brasil de Fato**, 2020.

SILVA, Maria do Perpétuo Socorro Lopes de Sousa *et al.* **Uma contribuição à história das mulheres nas ciências no Brasil**: Heloísa Alberto Torres, a primeira diretora do Museu Nacional/UFRJ. 2018.

SILVA, Nara. **Feminismo e anti-racismo na produção científica brasileira**. São Paulo: Annablume, 2017.

SILVA, Rilavia Almeida de; OLIVEIRA, Ana Paula Bispo da. **William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, p. 1–11, 2014.

SOUZA, Sheila Oliveira. **Mulheres no ramo científico e o olhar e experiência de Marília Goulart**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 68 p. 2022.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.

TIPLER, Paul Allen; LLEWELLYN, Ralph A. Física Moderna. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

XAVIER, Gabriela. **Intelectuais negras: visibilidades e epistemologias**. Curitiba: Appris, 2021.

WILKENING, Dean Alexander. Airborne boost-phase ballistic missile defense. **Science and Global Security**, Philadelphia, v. 12, p. 1–67, 2004.

APÊNDICE

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Prezada Prof.^a Dr.^a Sonia Guimarães,

Convidamos cordialmente a senhora para participar do estudo **“SONIA GUIMARÃES E OS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRAVERMELHA: CONSTITUIÇÃO DE UM FATO CIENTÍFICO PROTAGONIZADO POR UMA CIENTISTA NEGRA”**, que está sendo realizado pela pesquisadora Angelina Monsani, aluna do curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) - Campus Araranguá, sob a orientação e responsabilidade da Profa. Dra. Mônica Knöpker e sob a orientação da Profa. Ma. Larissa do Nascimento Pires.

Este estudo integra o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da pesquisadora e tem como objetivo investigar aspectos relativos à história de Sônia Guimarães, mais especificamente sobre seu trabalho acerca de sensores de radiação infravermelha, que nos permitem refletir sobre a constituição de um fato científico cuja construção envolve uma cientista negra. A pesquisa será realizada por meio de uma entrevista semiestruturada, com previsão de duração de 120 minutos, realizada remotamente (via videoconferência), e será gravada em áudio e vídeo, mediante sua autorização.

De acordo com a legislação vigente, toda pesquisa envolvendo seres humanos implica riscos, mesmo que mínimos. Esses riscos devem ser analisados e minimizados com medidas de precaução, em conformidade com a Resolução CNS nº 466/12, que define o risco como qualquer possibilidade de dano físico, psíquico, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual ao participante da pesquisa, em qualquer fase do estudo. No contexto desse projeto é importante destacar algumas possibilidades e as medidas preventivas adotadas:

a) Desconforto emocional ao abordar questões pessoais ou profissionais.

A entrevista será explicada previamente por meio deste TCLE, garantindo transparência. A entrevista também será conduzida com empatia e respeito e você poderá recusar-se a responder qualquer pergunta, bem como pausar ou encerrar a entrevista a qualquer momento, sem necessidade de justificativa.

b) Fadiga ou estresse emocional durante a entrevista.

Serão oferecidos intervalos sempre que necessário, respeitando seus limites físicos e emocionais.

c) Quebra de sigilo ou uso indevido das informações compartilhadas.

Os dados coletados serão armazenados com segurança e acesso restrito à equipe de pesquisa. A gravação será preservada por, no mínimo, cinco anos e descartada conforme a legislação vigente. A divulgação de seu nome ou imagem ocorrerá apenas com sua autorização expressa.

d) Interpretação inadequada de suas falas.

A transcrição da entrevista será compartilhada com você para validação prévia, garantindo fidelidade às suas palavras e intenção.

e) Reações emocionais mais intensas durante ou após a entrevista.

Será garantida assistência imediata em caso de desconfortos físicos e emocionais decorrentes da participação na pesquisa, com encaminhamento a serviços especializados próximos, sendo os custos integralmente assumidos pelos responsáveis pela pesquisa. Essa providência visa assegurar o cuidado necessário, conforme previsto na Resolução nº 466/2012/CNS (item V.6) e na Resolução nº 510/2016/CNS (art. 3º, inciso X, e art. 19, §2º), sem repassar quaisquer encargos ao IFSC e ao SUS.

A participação não implicará em qualquer custo, tampouco haverá remuneração. Sua colaboração é voluntária e poderá ser retirada a qualquer momento, inclusive após a entrevista, sem qualquer prejuízo pessoal ou institucional.

Os resultados serão utilizados para fins acadêmicos e científicos, com previsão de publicação no repositório institucional do IFSC e eventualmente em revistas científicas da área. Sua identidade será mencionada nos resultados da pesquisa, uma vez que a entrevista tem como foco central sua trajetória. Todas as informações serão apresentadas com o devido respeito, e o uso do seu nome e imagem ocorrerá conforme autorizado neste termo.

Para qualquer outra informação ou esclarecimento, você poderá entrar em contato com a pesquisadora Angelina Monsani, pelo telefone (48) 991577170 ou pelo email: angelinamonsani09@gmail.com (pessoal) e angelina.m09@aluno.ifsc.edu.br (institucional), ou ainda poderá consultar a pesquisadora responsável, a Profa. Dra. Mônica Knöpker pelo e-mail: monica.knopker@ifsc.edu.br. Em caso de dúvidas quanto aos seus direitos você poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do IFSC localizado dentro da própria Instituição, à Rua 14 de Julho nº150 segundo andar sala 33B Florianópolis-SC CEP (correios): 88075-010). Horário de funcionamento definido de segunda-feira a sexta-feira das 8h às 12h e das 14h às 17h para contato dos pesquisadores e participantes das pesquisas. Telefone para contato (48)3877-9054 e e-mail cepsh@ifsc.edu.br.

CONSENTIMENTO DA PESSOA (TITULAR) COMO PARTICIPANTE DE PESQUISA

Eu, SONIA GUIMARÃES, abaixo assinada, concordo em participar do estudo. Fui devidamente informada e esclarecida pela pesquisadora sobre a pesquisa e os procedimentos nela envolvidos, bem como os riscos e benefícios decorrentes da minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento e ter acesso ao registro do consentimento sempre que solicitado.

Local: SÃO JOSÉ DOS CAMPOS Data 21/09/2025.

Assinatura do participante da pesquisa:

Documento assinado digitalmente
 SONIA GUIMARAES
Data: 21/09/2025 15:11:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do pesquisador responsável:

Documento assinado digitalmente
 MONICA KNOPKER
Data: 29/11/2025 22:53:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

APÊNDICE B – ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ARARANGUÁ
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos **dezoito** dias do mês de **dezembro** de **2025**, com início às **19h** e término às **20h50**, via webconferência, realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de autoria do(a) discente ANGELINA MONSANI, matrícula nº 202010007199, intitulado "SONIA GUIMARÃES E OS SENSORES DE RADIAÇÃO INFRAVERMELHA: UMA ANÁLISE DE UM FATO CIENTÍFICO ENVOLVENDO UMA CIENTISTA NEGRA SOB A PERSPECTIVA NATUREZAS-CULTURA", como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciada em Física.

A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Ma. Larissa do Nascimento Pires (Presidente/Orientadora), Profa. Dra. Mônica Knöpker (Coorientadora), Profa. Dra. Gabriela Kaiana Ferreira, Prof. Me. Paulo Vitor Monteiro e Prof. Me. Israel Müller dos Santos.

Os trabalhos foram iniciados pela presidência da banca, que, após as formalidades de apresentação, concedeu a palavra à candidata para a exposição oral do trabalho. Encerrada a apresentação, procedeu-se à arguição pelos membros da banca examinadora, sendo assegurado à discente o tempo regulamentar para suas respostas e considerações.

Ao término da defesa, a Banca Examinadora reuniu-se reservadamente para deliberação e atribuiu ao trabalho o conceito/nota: 10.

Retomada a sessão pública, a presidência comunicou o resultado e, nada mais havendo a tratar, declarou encerrada a defesa e lavrou a presente Ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e será encaminhada à Coordenadoria do Curso.

Araranguá, 18 de dezembro de 2025.

Assinatura dos membros da Banca:

1. Larissa do Nascimento Pires (Orientadora/Presidente)

Documento assinado digitalmente
LARISSA DO NASCIMENTO PIRES
Data: 18/12/2025 22:49:43-0300
CPF: ***.367.729-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

2. Mônica Knöpker (Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
MONICA KNOPKER
Data: 18/12/2025 21:38:55-0300
CPF: ***.556.150-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

3. Gabriela Kaiana Ferreira

Documento assinado digitalmente
Gabriela Kaiana Ferreira
Data: 19/12/2025 09:23:41-0300
CPF: ***.978.009-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

4. Paulo Vitor Monteiro

Documento assinado digitalmente
Paulo Vitor Monteiro
Data: 18/12/2025 21:32:57-0300
CPF: ***.729.119-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

5. Israel Müller dos Santos

Documento assinado digitalmente
ISRAEL MULLER DOS SANTOS
Data: 19/12/2025 12:44:42-0300
CPF: ***.621.389-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>