



Universidade Federal do Espírito Santo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Daniela Pawelski Amaro Marins

MONITORAMENTO DE SINAIS CRONOBIOLOGICOS
EM AMBIENTES ISOLADOS

Tese de Doutorado

Vitória
Maio, 2023



Daniela Pawelski Amaro Marins
Autora

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto
Orientador

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez
Coorientadora

MONITORAMENTO DE SINAIS CRONOBIOLOGICOS EM AMBIENTES ISOLADOS

Tese apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Elétrica.



Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M337 Marins, Daniela Pawelski Amaro, 1977-
m Monitoramento de sinais cronobiológicos em ambientes
isolados / Daniela Pawelski Amaro Marins. - 2023.
194 f. : il.

Orientador: Marcelo Eduardo Vieira Segatto.

Coorientadora: Cristina Engel de Alvarez.

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Ciclo circadiano. 2. Sinais cronobiológicos. 3. Locais
isolados. 4. Antártica. 5. Espectrometria. 6. Monitoramento. I.
Segatto, Marcelo Eduardo Vieira. II. Alvarez, Cristina Engel de.
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico.
IV. Título.

CDU: 621.3



Daniela Pawelski Amaro Marins

MONITORAMENTO DE SINAIS CRONOBIOLÓGICOS EM AMBIENTES ISOLADOS

Tese apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 31 de maio de 2023.

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto - Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez - Coorientadora
Universidade Federal do Espírito Santo

Profa. Dra. Jussara Farias Fardin
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Camilo Arturo Rodriguez Diaz
Universidade Federal do Espírito Santo

Profa. Dra. Maria José Pontes
Universidade Federal do Espírito Santo

Profa. Dra. Maria Beatriz Florencia Piderit Moreno
Universidade del Bio-Bio, Chile

Prof. Dr. Márcio Almeida Có
Instituto Federal do Espírito Santo



Dedico este trabalho às mulheres na ciência,
Que enfrentam o machismo com paciência,
Lutam silenciosamente em seu labor diário,
E erguem sua voz em um grito necessário.

Inspirada,
Amplio minha dedicatória,
A cada uma que enfrenta a discriminação,
E segue em frente com a história.

Que essa obra possa ser um pequeno passo,
Na luta por uma ciência mais justa e de abraço,
E que possamos juntas trilhar o caminho,
Rumo a uma sociedade mais igualitária e com carinho.



Agradecimentos

Este é um modelo de um trabalho interdisciplinar feito a muitas mãos, então isso será longo.

Gostaria de iniciar agradecendo à pessoa que nunca me disse "não": minha professora, Cristina Engel, que me acompanha há pelo menos 25 anos, e proporcionou e viabilizou meu retorno à academia, depois de muitos anos longe. Apesar de sermos muito diferentes, nossa paixão pela arquitetura trilha um caminho muito similar, e nos identificamos em tantas ações e emoções. Cris, é difícil compensar-te pelo tanto de trabalho que eu te dou e te dei, mas tenha certeza de que esse trabalho é uma frutinha, pequenina, do seu pomar de conquistas e incentivos acadêmicos! Gratidão por toda a atenção, gratidão por todo o carinho.

Depois, devo e quero agradecer ao meu orientador, Marcelo Segatto, que me pescou lá na arquitetura, só para desafiar costumes e regras na engenharia! Obrigada por ser tão corajoso e acreditar no meu potencial, porque nem eu sabia que poderia trilhar tamanho desafio. Sinto-me honrada e respeitada em poder compartilhar as minhas ideias pouco convencionais e executá-las. E penso em agradecer, fazendo igual à Cris, dizendo sempre "sim" para as invenções que você me permite pensar! Obrigada por ser um professor e fazer disso uma inspiração para quem passa por essas bandas acadêmicas!

Formalmente, gostaria de expressar meu agradecimento e parabenizar a Marinha do Brasil. Enfrentei muitas dificuldades para iniciar o compartilhamento das minhas necessidades acadêmicas em um ambiente militar, mas fui surpreendentemente bem recebida em todas as minhas solicitações desde o início do projeto. Gostaria de mencionar o Cmte. Geraldo Juaçaba, por ser o pioneiro a aceitar a ideia de monitoramento na Antártica; e o Cmte. Marcelo Gomes, ambos da SECIRM, por terem abraçado o projeto e oficializado nossa parceria. Na Estação Antártica, destaco o Grupo Base de 2019-2020, com o contato da Capitã-tenente Letícia Aurílio Matos, médica da Estação, que foi fundamental para a primeira coleta, seguido pelo apoio e total suporte do Grupo Base de 2020-2021, sob a intermediação da Dra. Nicole Pimentel, que conseguiu um número máximo de adesão dos voluntários. Em 2021-2022, o Dr. Gabriel Prucoli Benevenuto, que ajudou a solucionar vários problemas técnicos com os equipamentos da Estação. Este último ano, meu agradecimento vai para o Suboficial Carlos Alberto Orestes Costa, que se dispôs a ajudar e apoiar essa pesquisa com o mesmo entusiasmo e solicitude de todos os envolvidos. Agradeço também ao Cmte. Marcio Hecksher Stallone, que aceitou



instalar o mesmo projeto, já existente em Ferraz, na Escola de Marinheiros do Espírito Santo, e também ao Cmte. Joabe Berriel da Silva, por permitir a continuação do projeto. Ainda na EAMES, agradeço ao Prof. Ramon Santos, ao Ten. Raphael Secchin, ao Prof. Cezar Vasconcellos Sanfim Cardoso e todos os voluntários e participantes da pesquisa que acreditaram e se comprometeram a me auxiliar nessa empreitada de tantos anos.

Também gostaria de agradecer a oportunidade de conhecer e compartilhar dados com a Prof.^a Dr.^a Rosa Arantes e sua equipe de fisiologia na Antártica. Ela me inspirou a buscar respostas com tecnologia e direcionou meus questionamentos para áreas fora da minha especialização, destacando a importância da abordagem multidisciplinar neste projeto.

Quando mencionei que este trabalho foi realizado com muitas mãos, estou me referindo, em primeiro lugar, aos meus colegas e à equipe de trabalho que contribuíram para o desenvolvimento do projeto. Gostaria de agradecer a Jordano Celestrini, que esteve ao meu lado neste doutorado desde o primeiro dia e acabou virando um amigo. Também gostaria de agradecer a Vinicius Ferreira, que participou do momento embrionário do projeto e executou todas as tarefas desde então com maturidade e responsabilidade admiráveis. Agradeço ao Marcelo Ferreira, que participou de uma parte importante da montagem da última versão do equipamento de medição. Por último, mas não menos importante, agradeço a João Phellipe Rodrigues Hautequestt e Bruno Pereira Rocha, que ainda fazem parte do projeto até hoje. Em especial, agradeço ao Bruno, que às vezes ignorava minhas solicitações, mas sempre retornava no dia seguinte com uma solução. Meu sincero agradecimento pelo comprometimento e dedicação a este trabalho.

Também dedico este agradecimento a todos os professores envolvidos, em especial ao Prof. Camilo Arturo Rodriguez Diaz, que sempre se dispôs a me auxiliar no laboratório de prototipagem. Agradeço ao Prof. Roberto Colistete Júnior, que emprestou muitos equipamentos e orientou em todos os aspectos relacionados aos sensores espectrais. Agradeço ainda ao Prof. Celso Alberto Saibel Santos e Rodrigo Varejão Andreão, que, mesmo à distância, acreditaram e participaram, incentivando meu trabalho.

Agradeço imensamente ao Laboratório de Planejamento de Projetos – LPP/UFES, e todas as pessoas especiais que fazem parte dele e que tornaram impossível viver minha vida acadêmica sem eles. Em especial, agradeço ao meu laboratório atual, o Laboratório – LABTEL/UFES, que sempre me acolheu com respeito e seriedade, surpreendendo-me e fazendo-me mudar minha



visão distorcida sobre os engenheiros. Agradeço também ao Laboratório de Energias Renováveis no Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento - E-lena/CPID, especialmente à Lohane Palaoro, por me empoderar como arquiteta, e mostrar que eu sou capaz de enfrentar um projeto na engenharia, ou em qualquer lugar, superando todos os preconceitos.

Agradeço às minhas amigas, Brigida Solé, Lilian Melo, Lu Gomes e Vivi Simmer, são perfeitas, cada uma ao seu modo me completam e fazem tudo valer a pena. Trilhar esse caminho longe de vocês, me dá a certeza do que realmente é valioso nessa vida.

Agradeço aos órgãos de fomento CAPES, pela bolsa de doutorado, e à FAPES, pelo suporte com materiais, através dos projetos específicos para pesquisa.

E, por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família, que acolheu durante esses quatro anos a essa nova Daniela, cheia de novos projetos, que não ia mais à praia todos os dias, que desaprendeu a cozinhar e muitas vezes deixou de lado o papel de mãe e filha, priorizando esta vida acadêmica intensa. Eles entenderam tudo e tornaram tudo fácil e prazeroso. Sou grata a todos vocês, meus filhos e meus pais! Estarei sempre ao lado de vocês em suas próprias jornadas de vida, lembrando deste momento e retribuindo com muito amor. Amo vocês. E, no fim deste memorial de quem importa, eu preciso confessar que nada disso seria possível sem meu companheirinho, meu porto seguro, que compartilha tudo comigo, me dá suporte, amor, apoio, e que eu amo viver junto. Guto, você é minha inspiração para ser cada dia melhor, seja na área acadêmica, pessoal, profissional ou espiritual. Te amo.



“A inteligência procura, mas quem encontra é o coração”
– George Sand

George Sand (1804-1876), pseudônimo de Amandine-Aurore-Lucile Dupin, foi uma romancista e memorialista francesa que usava um pseudônimo masculino para poder publicar suas obras e ser tão respeitada quanto os escritores homens daquela época.



Resumo

A luz desempenha um papel fundamental na arquitetura e no bem-estar dos usuários dos espaços construídos, pois sua intensidade e composição espectral influenciam o ritmo circadiano do corpo humano. O corpo humano é um sistema fisiológico que regula seu ciclo de sono e vigília por meio de um ritmo constante de luz e escuridão, divididos em períodos de 24 horas, delimitados pela dinâmica do nosso próprio planeta. Desde há muito tempo, a área da pesquisa tem se preocupado em compreender esse ritmo para melhorar a qualidade de vida das pessoas. Com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão da influência da luz no ritmo circadiano humano, foi desenvolvido um equipamento de monitoramento remoto que mede, com confiabilidade, o espectro luminoso e o ritmo circadiano humano em diferentes ambientes, incluindo a Antártica como estudo de caso principal e um estudo transversal comparativo urbano e tropical. O equipamento proposto, foi desenvolvido para ajudar a compreender como a luz influencia o ritmo circadiano humano e tornar essas medições acessíveis com ferramentas de baixo custo. Os resultados mostraram que o protótipo de monitoramento desenvolvido é capaz de coletar e transmitir dados ambientais e humanos de forma confiável. A análise transversal dos dados coletados revelou evidências da influência significativa da luz na regulação do ritmo circadiano humano em ambientes urbanos e na Antártica. A compreensão da influência da luz no ritmo circadiano humano pode ter implicações importantes para a saúde e o bem-estar humano. Portanto, o equipamento de baixo custo desenvolvido pode ser reproduzido e usado por instituições de pesquisa para coletar dados em diferentes ambientes e melhorar a compreensão da influência do espectro luminoso no ritmo circadiano humano.

Palavras chave

Ciclo Circadiano; Sinais Cronobiológicos; Locais isolados; Antártica; Espectrometria; Monitoramento; Internet das Coisas (IoT).



Abstract

Light plays an important role in the architecture and well-being of users of built spaces, as its intensity and spectral composition influence the circadian rhythm of the human body. The human body is a physiological system that regulates its sleep-awake cycle through a constant rhythm of light and darkness, divided into 24-hour periods, delimited by the dynamics of our own planet. For a long time, the research field has been concerned with understanding this rhythm to improve people's quality of life. In order to provide a better understanding of the influence of light on the human circadian rhythm, a remote monitoring device was developed that reliably measures the light spectrum and human circadian rhythm in different environments, including Antarctica as the main case study and a comparative cross-sectional urban and tropical study. The proposed equipment was developed to help understand how light influences the human circadian rhythm and make these measurements accessible with low-cost tools. The results showed that the developed monitoring prototype is capable of collecting and transmitting environmental and human data reliably. The cross-sectional analysis of the collected data revealed evidence of the significant influence of light on the regulation of the human circadian rhythm in urban environments and in Antarctica. Understanding the influence of light on the human circadian rhythm can have important implications for human health and well-being. Therefore, the low-cost equipment developed can be reproduced and used by research institutions to collect data in different environments and improve the understanding of the influence of the light spectrum on the human circadian rhythm.

Keywords

Circadian Rhythm; Chronobiological Signals; Isolated Locations; Antarctica; Spectrometry; Monitoring; Internet of Things (IoT)



Lista de Siglas

CCT	<i>Correlated Color Temperature</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisas
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>
CPID	Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento
CS	Estímulo Circadiano
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
EAMES	Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo
EML	<i>Equivalent Melanopic Lux</i>
ESANTAR	Estação de Apoio Antártico
IoT	<i>Internet of Things</i>
ipRGCs	<i>intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell</i>
LABTEL	Laboratório de Telecomunicações
LPP	Laboratório de Planejamento de Projetos
SAD	<i>Seasonal Affective Disorder</i>
SECIRM	Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
SWH	<i>Smart Wearable Healthcare</i>
UDI	Índice de Distribuição de Iluminação Uniforme



Sumário

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivo Geral	5
1.3 Objetivos Específicos	5
1.4 Hipótese e Perguntas de Pesquisa.....	5
1.5 Justificativa.....	6
1.6 Contribuições e Publicações.....	8
1.7 Estrutura da Tese	9
Capítulo 2 - Fundamentação Teórica	11
2.1 O Sistema Cronobiológico Humano.....	11
2.1.1 Histórico da Cronobiologia	13
2.1.2 O Sistema de Receptores Visuais e Receptores Cronobiológicos.....	18
2.1.3 Sensibilidade aos Menores Comprimentos de Onda.....	23
2.2 Antártica como Laboratório Experimental Principal.....	26
2.2.1 O Estudo de Caso na EACF e o Grupo Controle na EAMES.....	30
2.2.2 A EACF - Estação Antártica Comandante Ferraz.....	32
2.2.3 EAMES - a Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo.....	35
2.3 Ferramentas da Engenharia	36
2.3.1 Actigrafia.....	37
2.3.2 Espectrometria.....	42
2.3.3 Internet das Coisas (IoT)	44
2.3.4 Definição dos Sinais de Ritmo	46
2.3.5 Métricas para os Efeitos da Luz no Ciclo Circadiano	49
Capítulo 3 - Materiais e Métodos.....	55
3.1 O Projeto de Pesquisa	56
3.1.1 Definição do protótipo	57
3.1.2 Desenho do Projeto	59
3.1.3 Instalação dos Protótipos.....	61
3.1.4 Voluntários.....	64
3.2 Metodologia de Tratamento dos Dados Coletados.....	67



3.2.1	Iluminância.....	67
3.2.2	Temperatura de Cor.....	82
3.2.3	Porcentagem Espectral	89
3.2.4	Função Cosinor	94
Capítulo 4 - Resultados e Discussões.....		101
4.1	O Produto	101
4.1.1	Desenvolvimento do Protótipo.....	104
4.1.2	Componentes do <i>Hardware</i>	109
4.1.3	Componentes do <i>Software</i>	113
4.1.4	Protótipo Final.....	115
4.2	Tratamento dos Dados Coletados	119
4.2.1	Análise Transversal da Iluminância e Cosinor.....	122
4.2.2	Análise Transversal das Informações Espectrais e Cosinor.....	129
5	Conclusões	138
Referências Bibliográficas		140
Apêndices		156
Cronologia Detalhada da Pesquisa.....		156
Registros Fotográficos.....		160
Diagramas Cosinor individuais		169
A.	EACF – subprojeto LUZANTAR	169
B.	EAMES – subprojeto LUZEAMES	171



Lista de Figuras

- Figura 1 - Paisagem na Antártica. Foto: Capitã-tenente Letizia Aurilio Grupo Base 2019-2020. _____ 2
- Figura 2 - Imagem do módulo de comunicação da Estação Antártica Comandante Ferraz. Foto: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/nova-estacao>. _____ 3
- Figura 3 - Linha do tempo da cronobiologia marcando, no eixo horizontal, as principais datas identificadas quanto a evolução do tema e as respectivas descobertas científicas, com os nomes dos autores em destaque e as fontes publicadas. Fonte: ilustração feita pela autora a partir das informações de [16] - [43]. ____ 14
- Figura 4 - Modelo de Bünnig para a execução da medição do tempo fotoperiódico de floração por uma oscilação circadiana. Na imagem estão representados no eixo horizontal um ciclo de 3 dias e no eixo vertical, em curva cosseno, 2 exemplos de dados medidos. Adaptado de [26]. _____ 16
- Figura 5 - O sistema cronobiológico humano e o ciclo do dia e da noite. Adaptado de [61]. _____ 20
- Figura 6 - Sensibilidade espectral do olho humano, demonstrando os vários tipos de sensibilidade espectral e as faixas de sensibilidade de cada uma delas. Adaptado de [63]. _____ 21
- Figura 7 – Imagem esquemática de como funciona a retina no olho humano, com o esquema gráfico do posicionamento dos novos fotorreceptores: (a) é a irradiação na retina no olho humano, (b) a retina em escala aumentada, (c) os cones de sensibilidade Small, Medium e Large – referente aos comprimentos de onda de sensibilidade, (d) são as células bipolares, (e) são os fotorreceptores ipRGCs, e (f) são os sinais integrados deixando a retina. Adaptado de [67]. _____ 22
- Figura 8 - Ilustração da sensibilidade humana aos diversos estímulos lumínicos, incluindo a resposta melanópica (a), e o espectro advindos das telas artificiais (b) e a luz azul nociva (c). Adaptado de [71]. _____ 24
- Figura 9 . Gráfico de sensibilidade em diferentes comprimentos de onda e, nos círculos pretos, a ocorrência de supressão de melatonina. Adaptado de [39]. _____ 25
- Figura 10 – (a) Mapa do continente antártico, com a localização das estações científicas; (b) localização da EACF, na Ilha do Rei George. Adaptado de: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/eacf>, acesso em 28/03/2023. _____ 28
- Figura 11 - Mapa-múndi esquemático do hemisfério sul com a representação do posicionamento aproximado dos estudos de caso do projeto: EACF (a); EAMES (b); círculo polar Antártico (c); trópico de Capricórnio (d) e o a linha do Equador (e). Adaptado de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazil_\(orthographic_projection\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazil_(orthographic_projection).svg) , acesso em: 23/03/2023. _____ 31
- Figura 12- Representação das Cartas solares referentes ao posicionamento da EACF (a) e da EAMES (b). O grande círculo cinza representa o planeta, e a área hachurada em amarelo representa o percurso do Sol anual na abóboda celeste, sendo que as linhas pretas são a trajetória diária do Sol no mês indicado, e as linhas brancas são os horários. Fonte: Adaptado do Programa RELUX PRO. _____ 32
- Figura 13 - Vista do edifício principal da Estação Antártica Comandante Ferraz na inauguração, em 15 de janeiro de 2020. Foto: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/eacf> , acesso em: 28/03/2023. _ 33



- Figura 14 - Imagem da Estação Antártica Comandante Ferraz e da Baía do Almirantado, no inverno. Foto: Dra. Nicole Pimentel, Grupo Base 2020-2021. _____ 34
- Figura 15 – Foto da fachada principal do edifício da Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo. Foto: a autora. _____ 36
- Figura 16 - Índices dinâmicos da função rítmica. Adaptado de [15]. _____ 47
- Figura 17 – Imagem com o diagrama cromático da CIE, com Locus Planckiano (a) localizado no centro. Adaptado de: [132], [130] _____ 53
- Figura 18 - Diagrama de organização das etapas de desenvolvimento da pesquisa. _____ 55
- Figura 19 - Mapa esquemático inicial do equipamento. _____ 57
- Figura 20 – Processo de design do equipamento apontando o esquema cíclico da criação. Fonte: adaptado de [138]. _____ 58
- Figura 21 - Visão esquemática do projeto completo desde (a) a concepção do plano de monitoramento até a aplicação do produto desenvolvido com coleta e envio dos dados para a Universidade (b), para o tratamento e análise dos resultados (c). _____ 59
- Figura 22 - Linha do tempo da pesquisa completa, com os anos de desenvolvimento destacados na barra horizontal e o início de cada fase nas setas verticais. _____ 60
- Figura 23 – Imagens da EACF: (a) sala de estar e refeições; (b) equipamento instalado na parede; (c) equipamento instalado na janela; e (d) desenho esquemático do posicionamento dos três equipamentos na sala de coleta dos dados ambientais, com as setas orientadas para a direção dos sensores espectrais. Fotos: Gabriel Prucoli Benevenuto (2021). _____ 62
- Figura 24 – Imagens internas do edifício da EAMES: (a) sala de refeições dos oficiais; (b) e (c) equipamentos instalados internamente; e (d) posicionamento dos equipamentos em planta com as setas indicativas do direcionamento dos sensores espectrais. _____ 63
- Figura 25 – Gráfico esquemático com a resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda do sensor AS 7262. Adaptado de [141]. _____ 69
- Figura 26 - Gráfico esquemático de como funciona o processo de sobreposição da banda (a) com a banda (b). _____ 70
- Figura 27 – Respostas espectrais normalizadas do sensor AS7341. Adaptado de [142]. _____ 73
- Figura 28 – Diagramas com iluminância fotópica anual da EACF com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux fotópico. _____ 75
- Figura 29 - Diagramas com iluminância melanópica anual da EACF com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux melanópico. _____ 76
- Figura 30 – Diagramas dos dados medidos na EACF comparativo entre lux fotópico (a) e lux melanópico (b) do período de outono. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores



da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidenciando o marcador de 10 e 100lux. _____ 78

Figura 31 - Diagramas com iluminância fotópica anual na EAMES, com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux fotópico. _____ 79

Figura 32 - Diagramas com iluminância melanópica anual na EAMES, com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway sendo em azul, os valores internos e em laranja, os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux melanópico. _____ 80

Figura 33 - Diagramas dos dados medidos na EAMES comparativo entre lux fotópico (a) e lux melanópico (b) do período de verão. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e na vertical, estão os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 10 e 100lux. _____ 81

Figura 34 – Diagrama esquemático com os níveis de sensibilidade dos olhos, sendo em (a) Small cones; em (b) Medium cones; e em (c) Large cones da função tristímulus. Adaptado de [148]. _____ 83

Figura 35 – Diagramas da temperatura de cor da luz medida na EACF posicionados no Lócus Planckiano, sendo em (a) os valores obtidos do equipamento que capta, majoritariamente, luz natural externa; em (b), os valores obtidos das medições da luz do ambiente interno, majoritariamente artificial; e em (c), o Diagrama CIE com o local dos detalhes e a legenda dos horários medidos. _____ 87

Figura 36 – Diagramas da temperatura de cor da luz medida na EAMES posicionados no Lócus Planckiano, sendo em (a) os valores obtidos do equipamento que capta, majoritariamente, luz natural externa, em (b) os valores obtidos das medições do ambiente interno, majoritariamente artificial; e em (c) o Diagrama CIE com o local dos detalhes e a legenda dos horários medidos. _____ 88

Figura 37 – Diagramas com os canais de medição AS7262 (a) e canais de medição do AS7341 (b). Adaptado de: [141], [142]. _____ 90

Figura 38 – Conjunto de diagramas com o Balanço Espectral da luz no subprojeto LUZANTAR em todas as estações climáticas, medido no ambiente interno (a) e externo (b). No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, o percentual espectral separado em seis canais. As linhas tracejadas evidenciam as medidas de percentual em 20 e 40 pontos, para efeito comparativo transversal entre o ambiente interno e externo da Estação. _____ 92

Figura 39 - Conjunto de diagramas com o Balanço Espectral da luz no subprojeto LUZEAMES em todas as estações climáticas, medido no ambiente interno (a) e externo (b). No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, o percentual espectral separado em seis canais. As linhas



- tracejadas evidenciam as medidas de percentual em 20 e 40 pontos, para efeito comparativo transversal entre o ambiente interno e externo da Escola. _____ 93
- Figura 40 – Diagramas Cosinor das estações do ano, elaborados a partir dos dados coletados dos voluntários na EACF. No eixo horizontal estão as horas do dia, e no vertical, os dados normalizados de -1 a +1. As setas verticais indicam a acrófase e as linhas horizontais são as referências do “zero” e da mesor no período de verão, para efeito comparativo. _____ 97
- Figura 41 - Diagramas representando o comportamento das Cosinores apresentadas na Figura 40, com as variações de amplitude (a), mesor (b) e acrófase (c) dos voluntários da EACF. No eixo horizontal estão as estações climáticas e no vertical, o horário de ocorrência da acrófase em (c) reportada em horas, e os deslocamentos relativos ao “zero” da mesor e amplitude (b) e (a), normalizados de 0 a +1. As linhas tracejadas horizontais representam os valores medidos máximo e mínimo, para comparação dos resultados. _____ 98
- Figura 42 - Diagramas Cosinor das estações do ano, elaborado a partir dos dados coletados dos voluntários na EAMES. No eixo horizontal estão as horas do dia, e no vertical, os dados normalizados de -1 a +1. As setas verticais indicam o momento da acrófase, e as linhas horizontais são as referências do “zero” e da mesor no período de verão, como eixo comparativo. _____ 99
- Figura 43 - Diagramas representando o comportamento das Cosinores apresentadas na Figura 42, com as variações de amplitude (a), mesor (b) e acrófase (c) dos voluntários da EAMES. No eixo horizontal estão as estações climáticas e no vertical o horário de ocorrência da acrófase em (c), e os deslocamentos relativos ao “zero” da mesor e amplitude (b) e (a). As linhas tracejadas horizontais representam os valores medidos máximo e mínimo, para comparação dos resultados. _____ 99
- Figura 44 – Imagens do protótipo de testes do Gateway, versão Beta 0.0: (a) tampa com o plug de energia conectado dentro da caixa; (b) caixa plugada na tomada; e (c) visão interna da caixa com os dispositivos de controle e comunicação. _____ 105
- Figura 45 – Imagens do modelo virtual tridimensional para impressão com esquema de posicionamento dos dispositivos eletrônicos internos: (a) versão com modem, (b) versão sem modem. Fonte: Jordano Celestrini. _____ 106
- Figura 46 – Imagens do Gateway versão 1.0. (a) versão com modem aberta, (b) versão sem modem aberta, (c) conjunto de e protótipos finalizados, enviados para teste na EACF. _____ 107
- Figura 47 – Imagens com as etapas de design, da esquerda para a direita: (a) croquis com o conceito volumétrico de retangular para redondo; (b) maquete em papelão com os dispositivos internos; (c) processo de impressão 3D; (d) caixa do Gateway pronta com os equipamentos eletrônicos encaixados; e (e) tampa com sensores instalados nos nichos específicos. _____ 108
- Figura 48 – Imagens com o processo de impressão 3D do Gateway: (a) caixa sendo impressa; (b) imagem com detecção de falhas na impressão; e (c) conjunto das carcaças impressas prontas para montagem. _____ 108
- Figura 49 – Imagens da pulseira inteligente (a), foto do Gateway em teste de comunicação (b), e imagem de como foi feita a organização para entrega das pulseiras aos voluntários (c). Foto: [155] (a); (b) e (c) a autora. _____ 111



- Figura 50 - Arquitetura IoT do equipamento. Em (a) os sensores de dados humanos que se comunicam com os Gateways por bluetooth; em (b) os Gateway ficam em conjunto em um ambiente atuando com os sensores ambientais de temperatura e luz natural e artificial, e se comunicam entre si através de wi-fi e apenas um dos Gateways transfere os dados coletados via 4G para o banco de dados da Universidade (c). _____ 115
- Figura 51 - Planta, vista lateral e tampa do equipamento Gateway e suas partes especificadas: (a) local para a fonte, (b) espaço para o modem, (c) encaixe do relógio em tempo real, (d) placa controladora Raspberry centralizada, (e) suporte para a placa reguladora de tensão, (f) encaixe e fixação do plug de energia, (g) pontos de fixação dos sensores espectrais, (h) local do controle de qualidade do ar, (i) mini painel OLED, (j) orifício para encaixe do botão liga e desliga, (k) pontos reforçados para os parafusos que conectam a tampa com a caixa. _____ 116
- Figura 52 – Gateway na versão final, com as conexões montadas. _____ 117
- Figura 53 - Imagem ilustrativa do equipamento com localização dos sensores ambientais, da tela OLED, botão liga e desliga, e sensor humano externo, com a comunicação esquemática bluetooth. _____ 118
- Figura 54 – Imagem externa dos Gateways das versões finais 2.0 e 2.1. _____ 118
- Figura 55 – Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de verão. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados. _____ 123
- Figura 56 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de outono. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no eixo vertical os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e, em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados. _____ 125
- Figura 57 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de inverno. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados. _____ 126
- Figura 58 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de primavera. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados. _____ 128



Figura 59 - Diagramas de Porcentagem Espectral EACF (a) e EAMES (b).	130
Figura 60 - Imagem feita da varanda da EACF destacando os projetores de fachada com luz colorida monocromática. Ao fundo a Lua nascendo. Foto: Dra. Nicole Pimentel, Grupo Base 2020-2021.	131
Figura 61 - Gráficos da EACF com os dados de Balanço Espectral, Temperatura de Cor Correlata e Cosinor divididos em (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Nos diagramas da Cosinor os períodos analisados foram divididos em manhã (de 6 às 10h, marcador circular), meio-dia (de 10h às 16h, marcador em formato de sinal de adição), entardecer (de 16h às 19h, marcador triângulo), e noite (de 19h às 6h, marcador quadrado).	133
Figura 62 - Diagramas com os dados médios da Temperatura de Cor Correlata da EACF nas quatro estações: verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).	134
Figura 63 - Gráficos da EAMES com os dados de temperatura de cor correlata e Cosinor divididos em (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Nos diagramas da Cosinor os períodos analisados foram divididos em manhã (de 6 às 10h, marcador circular), meio-dia (de 10h às 16h, marcador em formato de sinal de adição), entardecer (de 16h às 19h, marcador triângulo), e noite (de 19h às 6h, marcador quadrado).	135
Figura 64 - Diagramas com os dados médios da Temperatura de Cor Correlata da EAMES, nas quatro estações: verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).	136
Figura 65 - Linha do tempo da pesquisa.	156
Figura 66 - Testes do display OLED.	160
Figura 67 - Abertura e instalação das fontes.	161
Figura 68- Testes dos sensores espectrais.	161
Figura 69 - Impressão 3D.	162
Figura 70 - Montagem do equipamento.	163
Figura 71 - Conexão da Raspberry.	163
Figura 72 - Solda das conexões.	164
Figura 73 - Confeção da placa reguladora de tensão	164
Figura 74 - Colagem da logo e identificação dos Gateways	165
Figura 75 - Teste das pulseiras inteligentes	166
Figura 76 - Kit pronto para envio do Gateway versão 1.0	167
Figura 77 - Kits pronto e montagem finalizada do Gateway, versões 2.0 e 2.1	167
Figura 78 - Paraquedas com carga de reabastecimento da EACF no inverno com equipamentos de reposição do Gateway inclusos. Foto: Grupo base 2019-2020	168
Figura 79 - Teste posicionamento dos Gateways nos dois estudos de caso (EACF e EAMES)	168
Figura 80 - Cosinor individuais EACF verão	169
Figura 81 - Cosinor individuais EACF outono.	170
Figura 82 - Cosinor individuais EACF inverno.	170
Figura 83 - Cosinor individuais EACF primavera.	171
Figura 84 - Cosinor individuais EAMES verão	171
Figura 85 - Cosinor individuais EAMES outono	172



Figura 86 - Cosinor individuais EAMES inverno	173
Figura 87 - Cosinor individuais EAMES primavera.	174

Capítulo 1 - Introdução

Nesta tese, foi realizada uma abordagem interdisciplinar para investigar a relação entre o modo de vida humano e a luz no espaço construído e natural. A união da engenharia, fisiologia e arquitetura permitiu o uso de ferramentas inovadoras e acessíveis para estudar esse tema complexo e identificar ênfases que contribuam para uma vida com maior qualidade. O objetivo do estudo foi desenvolver um equipamento para identificar evidências relacionadas à intersecção do desempenho lumínico dos espaços estudados com o modo de viver do ser humano.

1.1 Contextualização

A arquitetura sempre esteve intrinsecamente ligada à luz. Desde os tempos antigos, arquitetos utilizam a luz para criar espaços que sejam agradáveis e funcionais. Assim, a luz é uma das principais responsáveis pelo bem-estar e saúde das pessoas, coordenando o seu impacto no ritmo circadiano, que é um ciclo natural que regula as funções biológicas ao longo de um período de 24 horas. O ritmo circadiano é influenciado por diversos fatores, sendo a luz um dos mais importantes.

O equilíbrio adequado entre a exposição à luz durante o dia e a ausência dela durante a noite é essencial para a manutenção da saúde física e mental. Nesse contexto, surge a necessidade de desenvolvimento de tecnologias e equipamentos que permitam a medição das dinâmicas da luz e a análise de seus efeitos sobre o corpo humano, proporcionando novos conhecimentos que possam ser aplicados na busca por soluções de questões de conforto ambiental e lumínico. Com tais informações, é possível desenvolver estratégias de iluminação dos ambientes para que promovam a melhoria na qualidade de vida dos indivíduos.

A luz desempenha um papel fundamental tanto na arquitetura quanto na vida humana, influenciando o bem-estar e a saúde, o que se torna ainda mais relevante em situações extremas, como no caso dos residentes temporários na Antártica, onde o conforto e a sanidade psíquica e



fisiológica são de grande importância. Na Antártica, as condições climáticas e geográficas atípicas podem se caracterizar como uma situação de exceção (ver Figura 1).



Figura 1 - Paisagem na Antártica. Foto: Capitã-tenente Letizia Aurilio Grupo Base 2019-2020.

Viver em regiões polares, especialmente na porção sul do globo terrestre, implica na necessidade de adaptação a extremos de frio, durante o dia e à noite, e em algumas circunstâncias, isolamento por longos períodos de tempo, normalmente com o afastamento do ambiente familiar. Em muitas situações, durante o inverno polar antártico, os residentes temporários são em número reduzido; possuem restrições de movimentação em função das condições externas extremas e a comunicação, dentro e fora do continente, depende de instrumentos via satélite, conforme pode ser visto na Figura 2. Sendo um local onde não existem populações nativas – e, conseqüentemente, a vida depende basicamente de tecnologia externa – os aspectos de conforto humano têm sido objeto de investigação [1].



Figura 2 - Imagem do módulo de comunicação da Estação Antártica Comandante Ferraz. Foto: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/nova-estacao>.

A carência de luz solar natural no inverno e o excesso dela no verão sugerem que o sistema circadiano dos habitantes do continente gelado é influenciado devido, em grande parte, à luz insuficiente ou excessiva. Na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), mesmo estando em uma condição menos extrema do que as estações próximas ao polo, o Sol fica apenas 4 horas no horizonte em julho e presente na abóbada celeste por 19 horas em dezembro [2], [3]. Durante o verão, quando o Sol está mais presente, a Estação tem maior movimentação com mais usuários presentes e intensas atividades, ao contrário do inverno, quando as atividades são restritas à manutenção dos equipamentos e das edificações.

Além de estarem expostos às condições extremas da Antártica, os usuários da Estação precisam se adaptar às suas próprias funções fisiológicas. O sinal neuroendócrino, que fornece informações fotoperiódicas à fisiologia do corpo e regula o ciclo circadiano, é responsável pela produção de melatonina e é orientado pela duração da noite. Conforme afirmado por Arendt e Middleton, o corpo humano produz mais hormônio nos dias de inverno e menos no verão, e isto afeta diretamente o ritmo circadiano dos usuários da Estação [4].



Distúrbios como a depressão de inverno, conhecida como *Seasonal Affective Disorder* (SAD), tem como tratamento a exposição a uma luz excessiva. Esse tratamento funciona expondo o usuário a um fotoperíodo de verão artificial, suficiente para encurtar a produção de melatonina. Dessa forma, investigações como as de Thorne *et al.* (2010), Corbett, Middleton e Arendt (2012) e Mottram *et al.* (2011) confirmam que a complementação de luz nos espaços, como tratamento médico, ajuda na regulação do relógio biológico dos usuários. No entanto, essa luz deve ter a composição espectral adequada e tempo de exposição bem definidos, de acordo com a necessidade do usuário [5], [6], [7].

Mesmo assim, apesar de tantos relatos e estudos indicarem o caminho para a solução de distúrbios do corpo humano, nem sempre é fácil identificar o momento certo e necessário para esses tratamentos. Monitorar as causas e consequências, antecipando um diagnóstico médico e o avanço das doenças, é um passo importante para uma rotina mais saudável.

A compreensão do ambiente construído e seu efeito na qualidade de vida dos moradores pode ser aprimorada com o uso de informações confiáveis. Isso envolve conhecimento da localização geográfica, recursos naturais disponíveis e características dos usuários. Com esses dados, é possível monitorar os impactos psicológicos e fisiológicos causados pelas características do ambiente na população, por meio da adoção de uma metodologia específica.

Embora alguns equipamentos de monitoramento possam apresentar sofisticação e alto custo, a adoção de tecnologia acessível para o monitoramento representa uma ferramenta valiosa para alcançar objetivos e beneficiar um maior número de pessoas. Essa tecnologia é capaz de identificar problemas relacionados à falta de iluminação e ao acesso limitado às necessidades básicas do dia a dia, como a exposição à luz natural e o contato com a natureza. A partir dessas informações, soluções podem ser desenvolvidas para melhorar esses aspectos e garantir um ambiente saudável e equilibrado para os habitantes.

A Antártica é considerada um local privilegiado para testes de novos equipamentos de medição da luz e outras tecnologias devido à sua localização geográfica única: suas características climáticas extremas e estrutura arquitetônica tecnologicamente avançada. A Antártica oferece, ainda, um ambiente propício para a realização de testes rigorosos de equipamentos. Esses testes podem contribuir para o desenvolvimento de novas soluções em iluminação e outras áreas relacionadas. Além disso, os estudos realizados na Antártica podem ter implicações importantes para a compreensão do impacto da luz e das condições ambientais extremas na saúde humana.



1.2 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um equipamento de baixo custo, capaz de resistir a diferentes condições ambientais, que permita medir, com confiabilidade, o espectro luminoso e o ritmo circadiano, incluindo ambientes urbanos e inóspitos, para proporcionar uma melhor compreensão da influência da luz no bem-estar humano.

1.3 Objetivos Específicos

1. Realizar revisão bibliográfica e documental, tanto em relação aos condicionantes antárticos como nos aspectos relacionados à influência da iluminação no bem-estar humano;
2. Desenvolver metodologia para medições urbanas e para ambiente inóspito, considerando as características logísticas e ambientais, de forma a possibilitar um estudo comparativo;
3. Desenvolver equipamento de monitoramento ambiental e humano, adequado para as condições da Antártica e do meio urbano tradicional;
4. Realizar medições dos espectro luminoso e do comportamento humano e avaliar os resultados obtidos.

1.4 Hipótese e Perguntas de Pesquisa

Parte-se da hipótese de que é possível desenvolver um equipamento de baixo custo, capaz de resistir a diferentes condições ambientais, incluindo ambientes urbanos e inóspitos, que proporcione medições confiáveis do espectro luminoso e do ritmo circadiano, cujos dados coletados auxiliem na melhor compreensão da influência da luz no ritmo circadiano humano em diferentes ambientes e condições climáticas.

Nesse sentido, as principais perguntas que nortearam o desenvolvimento da pesquisa foram:

- a) Quais são as especificações técnicas necessárias para o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, que possa medir com confiabilidade, o espectro luminoso e o ritmo circadiano em diferentes ambientes, incluindo ambientes urbanos e inóspitos,



tornando as medições acessíveis às instituições de pesquisa com recursos financeiros limitados?

- b) Como os dados das medições do espectro luminoso e do ritmo circadiano obtidos através do equipamento de baixo custo desenvolvido pode levar a uma melhor compreensão da influência da luz no ritmo circadiano humano em diferentes ambientes e condições climáticas, e como essa compreensão pode ser aplicada em diferentes áreas, como a saúde, a arquitetura e o urbanismo?

1.5 Justificativa

A exposição inadequada à luz pode levar a alterações no ritmo circadiano, o que pode ter efeitos negativos na saúde humana, incluindo distúrbios do sono, alterações hormonais, redução da produtividade e do bem-estar. Além disso, diferentes ambientes construídos e condições climáticas podem influenciar a quantidade e qualidade da luz presente em um ambiente, o que pode afetar ainda mais o ritmo circadiano. No entanto, muitos dos equipamentos existentes para medição do espectro luminoso e do ritmo circadiano são de alto custo e não acessíveis a todas as instituições de pesquisa. Portanto, o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo que possa medir com confiabilidade o espectro luminoso e o ritmo circadiano em diferentes ambientes, tornando essas medições acessíveis a uma ampla variedade de pesquisadores, pode levar a uma ampliação das pesquisas na área e, conseqüentemente, melhor compreensão da influência da luz no ritmo circadiano humano, contribuindo assim para o desenvolvimento de intervenções mais eficazes e acessíveis para melhorar a saúde e o bem-estar em diferentes populações.

O espectro luminoso tem um impacto significativo no sistema cronobiológico humano. A exposição à luz brilhante e intensa pode afetar a produção de melatonina, um hormônio que regula o sono e o ritmo circadiano. Em uma estação antártica como a Comandante Ferraz, por exemplo, no verão a exposição ao Sol é intensa e prolongada, e quase ausente no inverno, o que pode afetar o bem-estar dos trabalhadores e pesquisadores que passam longos períodos na região. Entre outros aspectos, reações comuns de alterações no ritmo circadiano são insônia, fadiga e mudanças de humor como já reportado em situações similares por Paterson (1975) e Lingjærde, Bratlid, e Hansen (1985) [8], [9].



A influência do espectro luminoso no sistema cronobiológico humano é real e significativa [10], e é importante tomar medidas para o melhor entendimento das consequências, monitorando e analisando o que ocorre em casos como esses, servindo de modelo e diretrizes para outras situações similares, como arquiteturas em situações geográficas extremas, abrigos em posicionamento isolado, ou mesmo nos grandes centros urbanos em espaços e ambientes sem acesso à luz natural constante. A tecnologia tem se mostrado uma aliada indispensável na compreensão da sensibilidade humana à luz, permitindo o monitoramento preciso e contínuo dos efeitos da luz sobre o corpo humano. Com o uso de dispositivos eletrônicos e equipamentos de monitoramento sofisticados, é possível medir a quantidade e a composição espectral da luz, avaliar diferentes tipos de luz e sua influência sobre a visão e o bem-estar geral das pessoas.

É importante ressaltar que o estilo de vida atual do ser humano que vive em sociedade, influencia e cria consequências para o bem-estar fisiológico individual. A pressa do dia-a-dia e a busca por produção e remunerações necessárias ao capitalismo, por exemplo, fazem com que o tempo destinado ao trabalho perca mais do que os períodos de descanso, lazer e alimentação. Além disso, as exigências de níveis de luz para executar as tarefas diárias, o uso de iluminação LED (*Light Emitting Diode*), as telas iluminadas (celulares, telas de computador, televisão, etc.) são uma constante e a luz artificial faz parte de grande parte da vida humana [11], [12]. As origens do corpo humano foram concebidas para serem guiadas pela rotina da natureza, ou seja, dia e noite, períodos de luz conduzindo as percepções humanas e o funcionamento pleno do corpo dentro do ciclo de rotação do planeta.

Desta forma, o sistema cronobiológico do corpo humano depende da luz para seu bom funcionamento. Neste estudo serão descritos os aspectos inerentes aos receptores de luz, às sensibilidades espectrais, à disponibilidade de luz do dia, à influência da luz artificial e natural, entre outros assuntos correlatos, sendo esse conteúdo direcionado pela interferência da arquitetura nas interações entre usuário e espaço. Logo, serão abordadas condições geográficas da luz, e a contribuição da disponibilidade de luz natural devido ao desempenho das janelas, entre outras questões relacionadas. A tecnologia para guiar essas constatações será a protagonista desta pesquisa, apresentando o desenvolvimento de um protótipo, econômico e funcional para a obtenção de dados ambientais e humanos, com o uso do conceito da Internet das Coisas (IoT), do inglês, *Internet of Things*. Apesar dos custos envolvidos na aquisição e manutenção desses equipamentos, eles são fundamentais para a pesquisa científica e o desenvolvimento de tecnologias que melhoram a qualidade de vida das pessoas.



O estudo de caso, que a princípio se limitava apenas às regiões polares, com extremos climáticos identificados para melhor visualização dos efeitos, estendeu-se para dois estudos comparativos. Foi selecionada outra região climática, desta vez tropical, para uma análise de dados mais completos e abrangentes. Deste modo, o estudo explicitará as características geográficas dos dois estudos de caso, a influência da luz e as variações da mesma em diferentes estações climáticas, as vantagens e desvantagens das medidas em ambiente controlado, e também em usuários específicos. Será apresentado o resultado obtido do equipamento desenvolvido para monitorar, com as dificuldades de construção do mesmo e desafios de coleta de dados. Além disso, serão apresentados também os próprios dados coletados em diagramas visuais voltados para um panorama cronobiológico, evidenciando os detalhes dentro dessa área de pesquisa, de forma que esses gráficos possam ser uma ferramenta de entendimento de como podemos melhorar nossas expectativas de qualidade de vida e do bom funcionamento do nosso organismo dentro da ótica sono-vigília.

1.6 Contribuições e Publicações

Durante o período de doutorado e condução de pesquisa experimental, vários trabalhos foram apresentados e publicados em congressos específicos da área e em revista IEEE. As referências desses trabalhos estão listadas a seguir:

1. Congresso internacional SBFoton, IPEN, São Paulo. Trabalho apresentado oralmente e publicado em IEEE Explorer. Referência:

MARINS, D. P. *et al.* **Below Useful Daylight Illuminance (BUDI): a new useful range measurement parameter**. SBFOTON - IEEE explorer, 2019

2. Congresso internacional Luxamerica, Bogotá, Colômbia. Em formato virtual, o trabalho foi apresentado oralmente. Referência:

MARINS, D. P. *et al.* **Human circadian monitoring: preparing an iot challenge at brazilian antartic station**. LUXAMERICA XV Congreso Iberoamericano de Iluminación Bogotá, Colombia. Anais do Congresso. Bogotá: 2020

3. Congresso internacional Luxamerica, Bogotá, Colômbia. Em formato virtual, o trabalho foi apresentado oralmente. Referência:



MARINS, D. P. ; SEGATTO, M. V.; ALVAREZ, C. E. **A paisagem na Antártica : os efeitos da luz na leitura e entendimento da dinâmica do ambiente.** LUXAMERICA XV Congreso Iberoamericano de Iluminación Bogotá, Colômbia. Anais do Congresso. Bogotá: 2020

4. IEEE IoT. Trabalho publicado no periódico, referente ao produto desenvolvido.

MARINS, D. P. A. *et al.* **Dealing with challenges developing a gateway to the end of the world- the Brazilian Antartic Station case study.** IEEE Internet of Things Journal, v. 4662, n. c, p. 1–8, 2022

1.7 Estrutura da Tese

No Capítulo 1, Introdução, são descritas as razões que motivaram o início da pesquisa, além da definição do objetivo geral, objetivos específicos, hipóteses e perguntas de pesquisa. Ademais, realizou-se uma breve contextualização do tema e as justificativas que fundamentam o trabalho. O capítulo também inclui a lista das publicações apresentadas em congressos e periódicos específicos.

No Capítulo 2, intitulado Fundamentação Teórica do Tema, são abordadas questões relacionadas à qualidade de vida humana e ao sistema cronobiológico. O histórico da cronobiologia é apresentado, incluindo informações sobre os novos receptores visuais recentemente descobertos e suas interações com o sistema fisiológico humano. Adicionalmente, foi realizada uma breve exposição dos locais geográficos onde ocorreu o processo experimental, destacando-se as características que justificam a escolha desses locais. O capítulo também tratou sobre as ferramentas utilizadas no processo, tais como a actigrafia, a espectrometria, a Internet das Coisas e as métricas e indicadores para medir os efeitos não visuais da luz.

No Capítulo 3, é realizada a descrição dos materiais e métodos utilizados no estudo. O procedimento foi dividido em duas partes: o projeto e o tratamento dos dados brutos coletados. Com base nos objetivos do projeto, foram definidos o escopo e a metodologia a serem utilizados. Optou-se por construir um protótipo de monitoramento que coletasse dados sobre o comportamento dos participantes e a luz no ambiente interno. Isso permitiria uma análise mais precisa da relação direta entre o espectro luminoso e as preferências de atividades humanas. Na seção de tratamento de dados são descritas as etapas de limpeza, transformação e análise estatística dos dados, destacando a transformação dos dados brutos em informações de



iluminância, temperatura de cor e porcentagem espectral, e mencionando a transformação dos dados humanos em uma Função Cosinor.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos neste estudo. A seção se inicia com a descrição do produto final e em seguida, são apresentados os dados coletados por meio do equipamento em formato de diagramas visuais. Através desses diagramas, foi possível visualizar o comportamento espectral dos ambientes e o comportamento humano.

As conclusões deste estudo estão presentes no Capítulo 5, seguido pelas Referências Bibliográficas. Os Apêndices contêm o material complementar da pesquisa, como a cronologia detalhada e os diagramas individuais dos voluntários.



Capítulo 2 - Fundamentação Teórica

A cronobiologia é uma área da biologia que estuda os ritmos biológicos dos seres vivos em resposta a estímulos ambientais, incluindo o ciclo de luz e escuridão do ambiente. No ser humano, o sistema cronobiológico é fundamental para a regulação do ritmo circadiano, que influencia processos fisiológicos como o sono, a temperatura corporal e a secreção hormonal. O estudo desse sistema é de grande importância para a compreensão da saúde e do bem-estar humano. Nesse sentido, a Antártica se mostra um ambiente de grande interesse para a pesquisa em cronobiologia, uma vez que os extremos de luminosidade e escuridão podem afetar significativamente o sistema cronobiológico dos indivíduos que habitam essa região. Para o desenvolvimento de equipamentos de monitoramento em ambientes tão inóspitos, a engenharia tem se mostrado uma ferramenta essencial, com a utilização de tecnologias IoT para coleta de dados precisos e confiáveis. O presente capítulo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica necessária para a compreensão do sistema cronobiológico humano, o estudo da Antártica como caso de pesquisa e a utilização da engenharia para o desenvolvimento de equipamentos de monitoramento IoT.

2.1 O Sistema Cronobiológico Humano

O corpo humano é regulado por um sistema fisiológico com rotina de 24 horas. De uma forma simplificada, isto significa que, neste período, há tempo para o corpo se mover, absorver e elaborar muitas coisas: conhecimento, emoções, fadiga muscular, calor corporal, digestão, etc.

Pela manhã, o corpo se comporta como se estivesse acordando, os músculos precisam ser alongados e é desejável que a luz ainda seja tênue. Depois de um tempo, a iluminação pode aumentar e o corpo se sente pronto para fazer atividades, tais como correr, aprender, brincar, rir, observar, comunicar e assim por diante. Algum tempo depois, o corpo precisa se refrescar, com água, comida e descanso. Esse é o momento em que a luz deve diminuir até que a escuridão se inicie, e então o corpo para de se mover e se comunicar. Esses momentos estão correlacionados diretamente com o movimento natural de rotação do planeta, do dia e da noite e com a trajetória do Sol.



O sistema fisiológico humano funciona como em todos os demais seres vivos. Na natureza, o movimento de rotação da Terra prevê o tempo e cria um ritmo de dia e noite, luz e escuridão. Assim, os sistemas fisiológicos dos seres vivos usam esse ritmo constante para controlar a produção de alguns hormônios, os quais regulam o sentido de alerta e de descanso. Mesmo que existam muitos outros elementos que orientem o funcionamento do corpo humano, pesquisas científicas evidenciam que a luz é o principal elemento que influencia o chamado sistema cronobiológico e que os mamíferos possuem um fotorreceptor ocular especial para isso [13], [14].

O corpo é regulado através de regras fisiológicas: a digestão fornece nutrientes ao corpo; o sistema respiratório produz a oxigenação do corpo; e o sistema circulatório transfere os nutrientes do corpo. Da mesma forma e importância, a glândula pineal é responsável pelo funcionamento do metabolismo corporal, incluindo períodos de repouso ou de plena atividade [14]. Embora a qualidade do sono esteja frequentemente associada a hábitos de trabalho, hábitos alimentares, tipo de colchões e travesseiros, estresse e até preferências individuais pelas horas da noite ou do dia, fisiologicamente, o sistema que rege o funcionamento do ciclo de sono do corpo humano é determinado pela produção de melatonina, que por sua vez é estimulada ou suprimida pela absorção de luz em receptáculos localizados no olho humano [13].

A preocupação por um entendimento do ritmo fisiológico do corpo humano data de muitos anos atrás. Lawrence Scheving e Franz Halberg, no livro *Chronobiotechnology and Chronobiological Engineering* (1987), trouxeram a preocupação sobre a popularização de alguns medidores do sistema cronobiológico (medidores de pressões e humores) instalados em espaços públicos. Em seu relato, comenta sobre máquinas de diversão que lidavam com essas questões de forma bastante irresponsável, visto se tratar, de um tema ainda embrionário no âmbito científico. Estes jogos traziam desinformação e alertas inadequados, do ponto de vista da saúde. O livro ainda sugere a união das disciplinas de medicina e engenharia em uma busca interdisciplinar de equipamentos, mais leves, portáteis, que coubessem em um ambiente pequeno e que medissem informações do corpo humano e seus parâmetros. Funções matemáticas já estabeleciam como seria o funcionamento do corpo, determinando o ritmo do mesmo e inferindo que todos possuem um ciclo diário, que necessita manutenção [15].



2.1.1 Histórico da Cronobiologia

Nos últimos 20 anos, a ciência tem se dedicado ao estudo da influência do tempo na saúde humana, dando origem à área de pesquisa denominada cronobiologia, que investiga a relação entre tempo e saúde. Estudos indicam que o horário em que as ações são realizadas é mais importante do que os detalhes das mesmas. Existem horários mais apropriados para diferentes tipos de atividades, como concentração, atividade física, alimentação e sono. É recomendável que o ciclo do dia e da noite ocorra em um ritmo de 24 horas, e que o descanso ocorra durante o período noturno. No entanto, observa-se que essa “nova ciência”, de fato, tem um histórico bem mais longo.

No século IV a.C., o geógrafo Androstenes de Thásos, que participou da expedição de Alexandre, o Grande, para a Ásia, foi o primeiro a relatar a existência de um ritmo circadiano ao observar que as folhas do tamarindo se erguiam e abriam durante o dia, e se fechavam durante a noite. Com isso, ele comprovou que o reino vegetal também apresentava movimentos cíclicos semelhantes aos encontrados no reino animal [16]. Seguiram-se observações semelhantes realizadas por Plínio, o Velho, e pelo bispo alemão do século XIII, Albertus Magnus [17], conforme mostra a Figura 3.

A cronobiologia, como campo de estudo, teve início no século XVIII, com as observações do astrônomo Jean Jaques d'Ortois de Mairan. Em seu trabalho publicado na Royal Academy of Science em Paris [18]. Mairan observou o comportamento da planta "mimosa pudica", que apresentava um padrão distinto de abertura e fechamento de folhas durante o dia e a noite. Para testar se a planta tinha uma resposta intrínseca ao ciclo dia-noite, ele a colocou dentro de um armário durante a noite e a observou na manhã seguinte, encontrando suas folhas abertas mesmo sem acesso à luz. Essa observação levou Mairan a concluir que a planta possuía um relógio biológico interno que a permitia sincronizar suas atividades com o ciclo diário.

A partir dessas observações, surgiu a cronobiologia como uma nova ciência que investiga os fenômenos periódicos em organismos vivos e sua adaptação aos movimentos do Sol e da Lua. O fenômeno da planta trouxe um conhecimento válido ainda hoje, comprovando que mesmo na ausência de estímulos externos, como a alternância entre dia e noite, variações de temperatura e outros, o corpo humano mantém seu ciclo de sono e vigília, atividade e descanso, produção de hormônios e funcionamento da glândula pineal. Isso prova a existência de um relógio biológico individual que não depende das ações e acontecimentos externos [18].

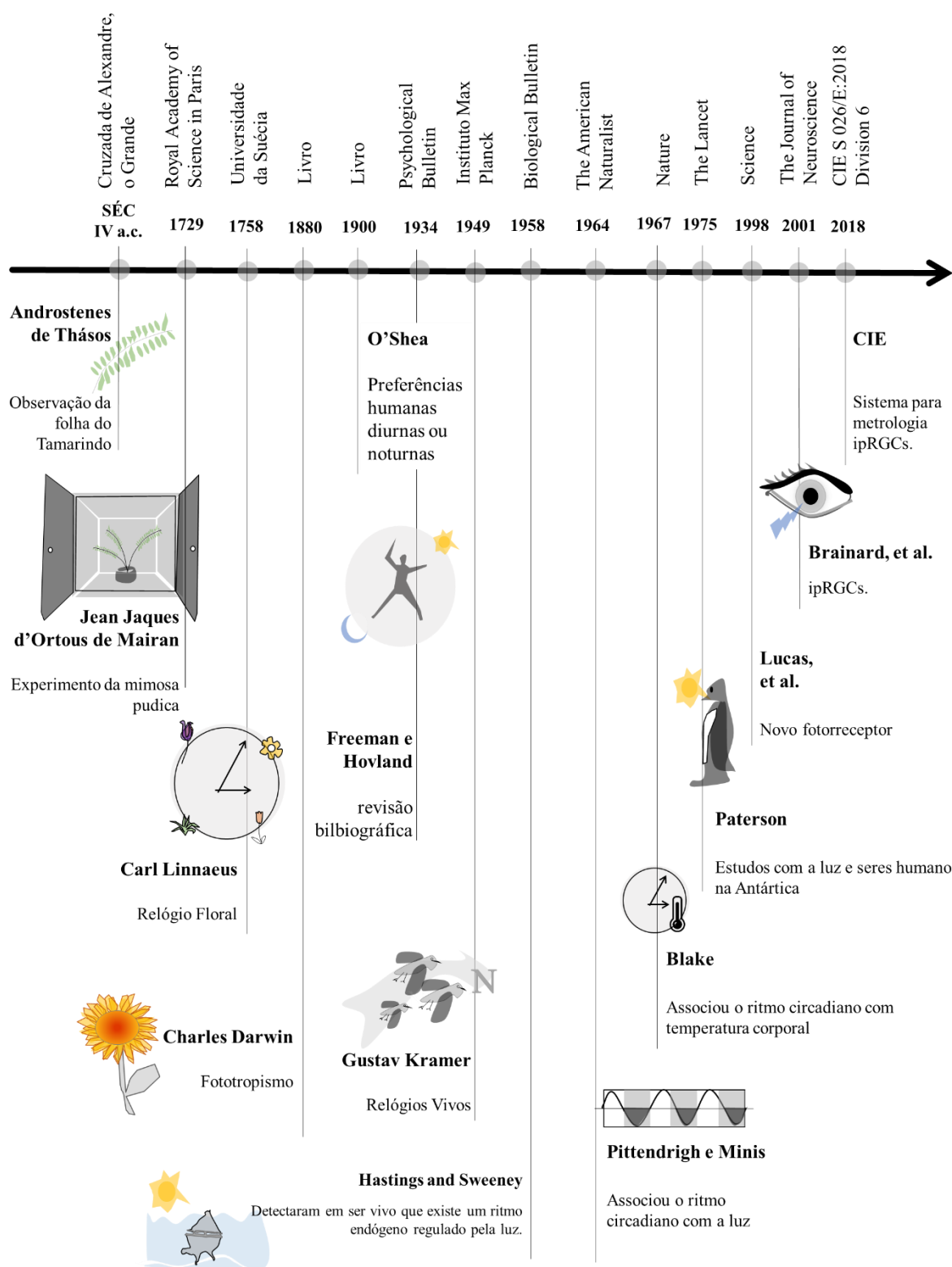


Figura 3 - Linha do tempo da cronobiologia marcando, no eixo horizontal, as principais datas identificadas quanto a evolução do tema e as respectivas descobertas científicas, com os nomes dos autores em destaque e as fontes publicadas. Fonte: ilustração feita pela autora a partir das informações de [16] - [43].



Em 1758, o botânico sueco Carl Linnaeus propôs a construção de um relógio floral como uma ferramenta científica para comprovar a regularidade de ritmos na vida das plantas, onde as horas do dia seriam determinadas a partir do padrão de abertura ou fechamento de algumas flores. Apesar de não ser uma proposta de caráter ornamental, seus experimentos não tiveram sucesso devido a influências de fatores ambientais, como clima, temperatura, umidade, sazonalidade e latitude, que afetavam o ritmo de abertura das flores. No entanto, a ideia de representar o tempo com base nas rotinas dos seres vivos foi um passo importante para o entendimento do ritmo circadiano [19].

Mais de um século depois, Charles Darwin publicou um livro em parceria com seu filho sobre o fototropismo e a influência da luz sobre o reino vegetal, justificando e comprovando que a luz é um elemento fundamental para o direcionamento do crescimento das plantas. No livro, Darwin descreve sobre a extraordinária sensibilidade de algumas plantas à luz; sobre os efeitos da luz e como os mesmos efeitos não correspondem à sua intensidade, e sim, sobre o tempo de exposição [20]. Darwin então, ao correlacionar tempo e luz, abre o caminho para os estudos relacionados com o ciclo que rege os seres vivos sob a influência da luz.

A atenção às diferenças humanas nos ritmos biológicos é objeto de reflexão desde o início do século passado. O'Shea, em 1900, publicou na Universidade de Wisconsin um estudo em torno da identificação de preferências estudantis em relação às atividades diurnas e noturnas [21]. Uma década antes, foi feito um estudo sobre os hábitos intelectuais dos alunos da Universidade de Cornell, o qual afirmava que os estudantes preferiam escrever e ler no período da manhã [22].

Em 1934, Freeman e Hovland registraram uma revisão sobre o tema de preferência humana por diferentes atividades, e seu desempenho matinal ou vespertino. Neste estudo foi detectado a relação de ingestão de alimentos e também outras características corporais – como temperatura e pressão arterial –, com os hábitos individuais [23].

Relógios Vivos, foi um experimento empírico realizado pelo cientista alemão Gustav Kramer, do instituto Max Planck, a partir de 1949, evidenciando que plantas e animais dão evidências de que podem manter o tempo, através de um relógio biológico interno que responde ao ritmo cósmico do planeta. Suas observações iniciaram com pássaros em cativeiro que seguiam o rumo de migração natural mesmo com espelhos os confundindo onde estava a direção do Sol. Após esse episódio da ciência, inúmeros outros experimentos, em várias partes do mundo, testaram



outros animais, como abelhas e seus horários de costumes estabelecidos e os ajustes, na rotina, feitos por elas mesmas se fossem deslocadas para outro fuso horário da Terra [24].

A luz solar é o ritmo natural que regula as atividades dos seres vivos, ativando os relógios biológicos individuais e sincronizando-os com o ritmo de dia e noite. Em 1958, J. Woodland Hastings e Beatrice M. Sweeney descobriram a existência de um ritmo endógeno regulado pela luz nos seres vivos. Eles realizaram um experimento com o organismo marinho dinoflagelado *Gonyaulax Polyedra*, submetendo-o a diferentes ciclos de luz e escuridão e suprimindo a luz por períodos determinados. Após se adaptar aos diferentes ciclos, o organismo retornou ao seu ritmo natural de 24 horas, que é comum a todos os seres vivos do planeta Terra [25].

Em 1964, Colin S. Pittendrigh e Dorothea H. Minis apresentaram, no simpósio sobre medição de tempo em fenômenos fotoperiódicos, evidências de arrastamento do ritmo (deslocamento da função para além das 24 horas) relacionados com a luz e apresentaram os resultados em gráficos de curvas cosseno (Figura 4) comparando diferentes situações fotoperiódicas com medidas, tanto em seres do reino vegetal quanto animal [26]. Esse diagrama representa o modelo Cosinor que será trabalhado com os dados humanos nesta pesquisa.

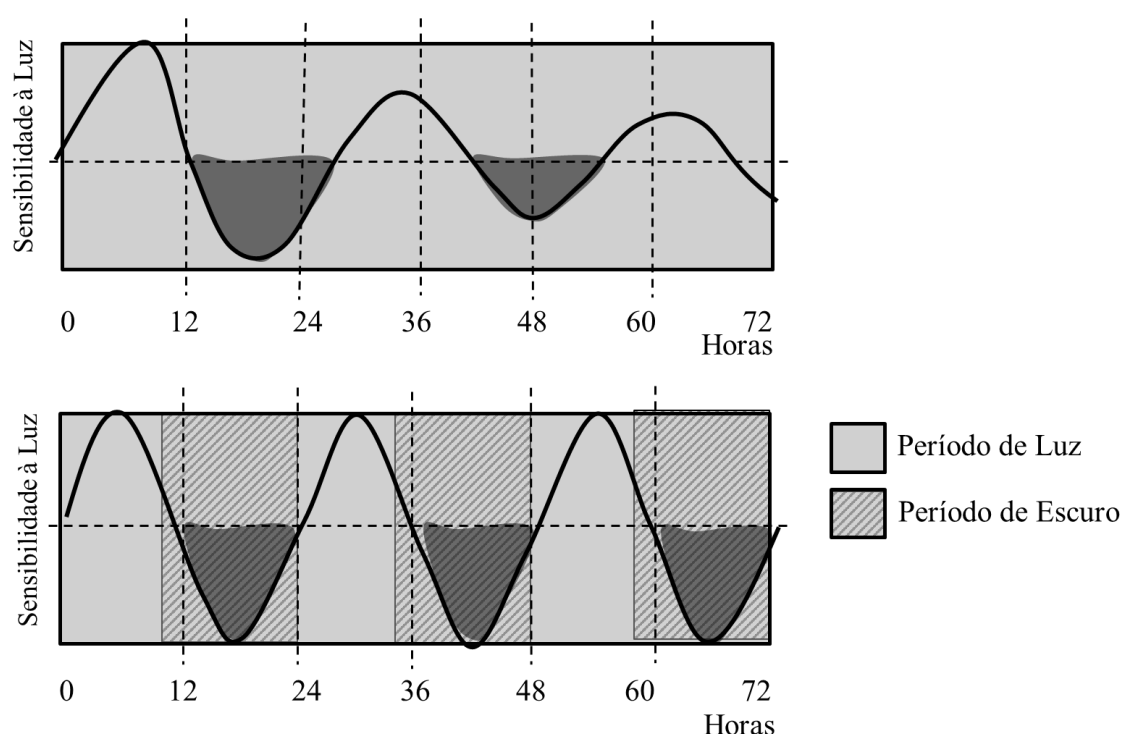


Figura 4 - Modelo de *Bünning* para a execução da medição do tempo fotoperiódico de floração por uma oscilação circadiana. Na imagem estão representados no eixo horizontal um ciclo de 3 dias e no eixo vertical, em curva cosseno, 2 exemplos de dados medidos. Adaptado de [26].



Cada vez mais tem sido constatado em pesquisas científicas que as pessoas podem ser divididas em tipos “matutinos” ou “noturnos”, observando-se que evidências de apoio para essa visão descobriram que o sinal da correlação de uma medida de personalidade e a eficiência do desempenho, dependia da hora do dia em que o teste era feito. A partir desta constatação, Blake investigou, em 1967, se essas diferenças estavam associadas às diferenças subjacentes no ritmo fisiológico circadiano, conforme indicado pela temperatura corporal [27].

Esse episódio foi seguido por alguns outros experimentos e investigações sobre a cronobiologia humana. Sociedades de pesquisadores no tema foram se formando e em 1986 foi criada a *Journal of Biological Rhythms*, e em 1988 estabelecida a *The Society for Research on Biological Rhythms*. Além dessas, ainda neste período, outras associações foram fundadas em muitos outros locais. A cronobiologia foi então estabelecida como o estudo, em todos os níveis de organização, das adaptações desenvolvidas por organismos vivos para lidar com ciclos geofísicos regulares em seu ambiente [28].

Em 1975, Paterson apresentou um estudo da base antártica britânica, a Halley, que consistia principalmente em correlacionar as peculiaridades da luz antártica com a qualidade do sono, considerando esse tempo como um sono de ondas lentas. Suas observações apontaram que os extremos da luz do dia nas regiões polares podem ser os principais responsáveis pelas oscilações dos hábitos de sono [9].

No caso, a Antártica tornou-se um excelente laboratório experimental de estudos sobre influência da luz natural no ser humano. Após esse estudo pioneiro de Paterson inúmeros outros surgiram, em diferentes estações científicas, de diversos países e culturas, como busca para melhor entendimento dos distúrbios psico-fisiológicos como SAD, ausência de vitamina D, distúrbios do sono, produtividade, entre outros. Muitas pesquisas incluem tratamentos com luz artificial para redução dos efeitos da falta ou excesso de luz [29]–[38].

A compreensão científica do ciclo circadiano humano e seus mecanismos de controle só foi alcançada após 1998, quando o grupo de Lucas *et al.* (1998) descobriram que os cones e bastonetes não são os receptores responsáveis por esse ritmo diário. Posteriormente, foram identificadas as células ganglionares retinianas intrinsecamente fotossensíveis, as *intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell* (ipRGCs), que atuam como fotorreceptores intrínsecos [14].



Em 2001, Brainard e colegas conduziram um estudo baseado em curvas de fluência-resposta para avaliar a supressão de melatonina em indivíduos saudáveis expostos a oito comprimentos de onda de luz monocromática. Os resultados indicaram que a produção da melatonina foi suprimida em resposta a comprimentos de onda entre 446 e 477 nm. Esses achados sugerem que um novo fotopigmento pode estar envolvido na regulação da melatonina, diferindo dos fotorreceptores tradicionais, tais como bastonetes e cones, utilizados na visão [39]. A partir de então, considera-se comprovada a existência deste novo fotorreceptor, responsável pelos efeitos não visuais fisiológicos do ciclo circadiano.

Em novembro do mesmo ano, quatorze principais sociedades internacionais formaram um consórcio chamado “*The World Federation of Societies for Chronobiology*”. Um grande número de estudos e investigações surgiram e consolidaram a necessidade da criação de novos parâmetros e indicadores da luz, priorizando os efeitos não visuais desta. Esta transição ainda está em processo e, no Brasil, por exemplo, ainda são válidas e utilizadas as definições quantitativas que delimitam a luz em apenas atividades visuais, considerando os parâmetros fotópicos como referência [40].

Em 2018, a *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) divulgou uma norma baseada nas descobertas dos últimos 20 anos, estabelecendo um novo sistema para medir a radiação óptica em resposta à luz, influenciada pelos ipRGCs. Essa nova norma modifica a forma de medição da luz, que anteriormente era regulada pela sensibilidade do olho humano em 550 nm, mas agora é comprovadamente limitada a situações fotópicas e idealizada para a sensibilidade padrão de apenas alguns indivíduos em faixas etárias específicas [41].

2.1.2 O Sistema de Receptores Visuais e Receptores Cronobiológicos

A luz influencia o comportamento do corpo humano. Estudos científicos coletaram evidências de que a luz afeta o ser humano de várias formas, podendo ser divididas em dois macro grupos: em sua intensidade e em sua composição espectral [42]. Existem algumas pesquisas sobre como cada banda da composição espectral da luz interfere na ativação do córtex, no transtorno afetivo sazonal, na temperatura corporal e no comportamento do ser humano [43]–[47]. A partir disso pode-se afirmar que a luz tem um impacto significativo na saúde e bem-estar do ser humano, tanto positiva quanto negativamente. A exposição à luz natural é importante para o equilíbrio hormonal e o ritmo circadiano, enquanto a exposição prolongada à luz artificial, principalmente



de baixa qualidade espectral, pode levar a problemas de sono, cansaço, mudanças na produção de melatonina, e outros problemas. Além disso, a cor e a intensidade da luz artificial podem afetar a forma como as pessoas se sentem e se comportam, por isso é importante escolher cuidadosamente a iluminação adequada para diferentes ambientes e situações.

A exposição ou a supressão da luz pode afetar o corpo humano por meio de suas características espectrais, quantidade e intensidade de luz. A SAD é uma condição mental comum em regiões temperadas, causada pela supressão da luz natural e suas consequências fisiológicas. O tratamento principal é a fototerapia, que envolve a exposição direta do corpo humano à intensidade da luz, inclusive por meio de fontes artificiais [44], [45], [48], [49].

O ciclo circadiano também provou ser diretamente influenciado pela luz [50], [51]. A abstinência de iluminação matinal ou iluminação noturna correta, com base na luz natural disponível ou complemento artificial, afeta a personalidade humana, as preferências e a supressão da melatonina, que conseqüentemente pode causar distúrbios do sono e dos níveis de atenção diurnos [52]–[55].

As variações na entrada de luz no ambiente são previsíveis, no entanto, a mudança na luz disponível pode ser resultado da variabilidade das atividades humanas. Além disso, hábitos como o consumo de alimentos, cafeína, estresse, e outros fatores, incluindo idade, humor, temperatura corporal e comportamento, podem interagir e influenciar o equilíbrio hormonal, o ritmo circadiano e a saúde física e psicológica do ser humano. Portanto, é importante avaliar uma abordagem integrada e equilibrada para a promoção da saúde e do bem-estar, considerando, sempre que possível, as interações entre esses fatores [56]–[59].

O sistema circadiano do ser humano funciona como uma rotina circular com vários aspectos: a luz regula o ritmo circadiano que mantém os ritmos corporais sincronizados com a rotação do planeta de 24 horas, permitindo um desempenho repetitivo eficaz [60]. Assim sendo, monitorar e avaliar o desempenho do corpo humano nas atividades diárias pode oferecer uma resposta para entender como o acesso à luz natural afeta o ciclo cronobiológico do organismo. Embora o corpo humano seja capaz de se adaptar ao ambiente, é amplamente conhecido que algumas mudanças sazonais na luz podem desencadear doenças depressivas [10]. A Figura 5 ilustra esse ritmo corporal com o dia e a noite.

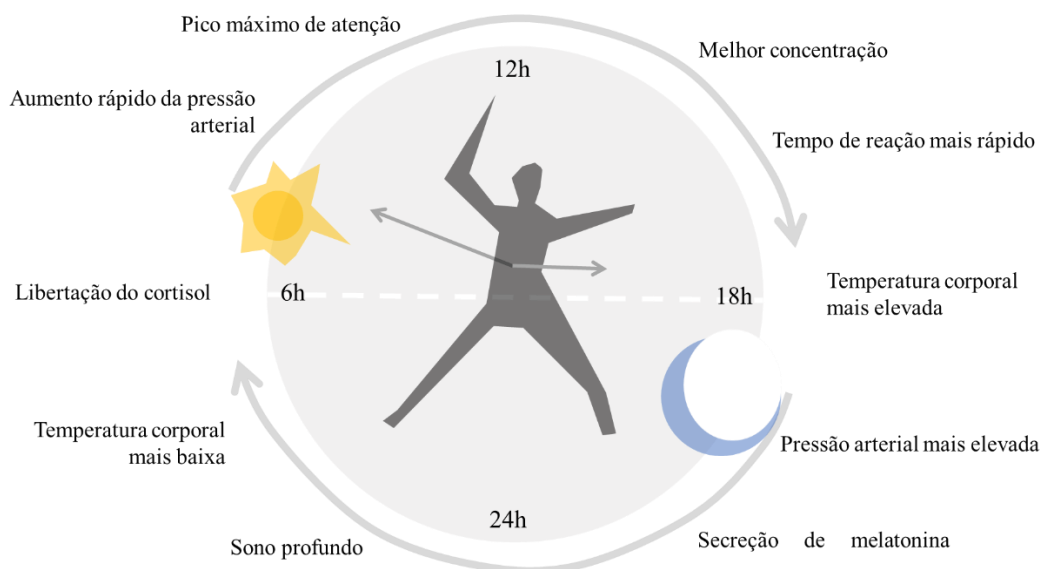


Figura 5 - O sistema cronobiológico humano e o ciclo do dia e da noite. Adaptado de [61].

Além disso, a constante falta de contato com a luz natural, durante todo o dia, é uma situação exemplar de uma rotina que pode interferir no bem-estar, visto que situações de mudança de luz não ocorrem apenas em efeitos sazonais, pois muitas pessoas trabalham continuamente apenas com fontes de luz artificial. Outras situações, como dormir com luz acesa ou contato com luz artificial em longos períodos noturnos, também podem ser classificadas como elemento obstrutivo cronobiológico [5]. Considerando a frequência com que o ser humano é obrigado a se adaptar aos ciclos de luz artificial, é uma vantagem positiva estar conscientemente sob uma situação ambiental saudável, mesmo que seja artificial.

É relativamente recente a descoberta que o olho humano não é um receptor de apenas estímulos visuais e que é responsável concomitantemente com a formação de imagens por regulação da glândula pineal que produz a melatonina [62]. Nas novas descobertas científicas em relação à cronobiologia, detectou-se que o olho humano, inicialmente com a sensibilidade estabelecida por cones e bastonetes numa faixa de 550 nm, que determinava um padrão de medidas fotópico, agora conta com mais cinco outras métricas que variam o pico de sensibilidade [63], totalizando seis canais sensíveis (Figura 6).

O documento redigido pela CIE, expõe as necessárias mudanças no sistema de medidas internacionais. A proposta, que já existe há quase uma década, ainda apresenta muitas dúvidas científicas e poucas certezas sobre o comportamento desses receptores biológicos, contudo,



Stephanie J. Crowley *et al.* (2014) por exemplo, comprovam variações referentes à sensibilidade sendo alteradas conforme a idade dos indivíduos [64].

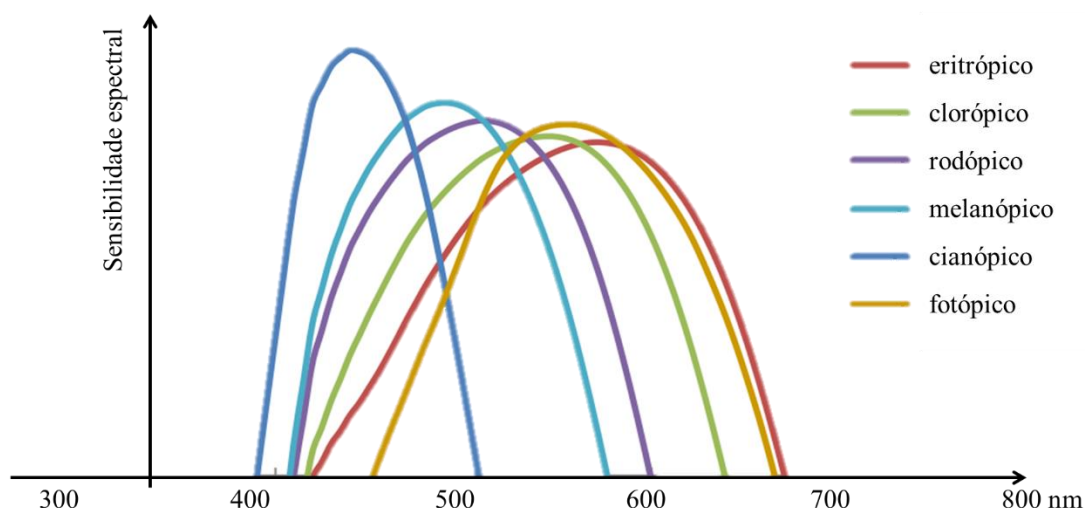


Figura 6 - Sensibilidade espectral do olho humano, demonstrando os vários tipos de sensibilidade espectral e as faixas de sensibilidade de cada uma delas. Adaptado de [63].

Um dos objetivos da nova normativa da CIE, que trata das respostas não visuais à luz, é determinar as características da luz que são importantes nesse contexto. No entanto, as novas descobertas revelam que os valores sugeridos e publicados para a iluminância e a temperatura de cor correlacionada (CCT), sigla em inglês para *Correlated Color Temperature*, são insuficientes para replicar as condições experimentais. Embora os níveis de iluminância relatados em lux para experimentos em animais possam ser úteis, na prática eles não funcionam para todos, e apesar de a candela ser uma unidade base do Sistema Internacional de Unidades (SI), ela depende exclusivamente da biologia humana e da percepção visual ideal [63].

A melatonina é um hormônio secretado pela glândula pineal que é inibido pela opsina, uma proteína que faz parte do pigmento visual liberado pela ação da luz. Assim, a produção de melatonina está relacionada ao acesso à luz, principalmente em comprimentos de onda menores [65], [66]. Desde 2002, foram realizadas tentativas de revisar e combinar os novos espectros de ação para a supressão da melatonina em humanos. Essas tentativas destacam a possibilidade de estabelecer uma nova medição padronizada para a luz, que substituiria a quantidade fotométrica do fluxo luminoso ao descrever exposições para respostas não visuais. Essas tentativas surgiram porque a formação desse hormônio está diretamente relacionada ao acesso à luz. Portanto, estabelecer uma nova forma de medição padronizada para a luz pode ajudar a entender melhor



como a luz afeta o organismo humano e seus sinais biológicos. No entanto, ainda existem desafios significativos a serem superados em relação à medição da luz.

A Figura 7 ilustra o sistema de fotorreceptores presentes na retina, que influencia as respostas circadianas, neuroendócrinas e comportamentais que são ativadas pela luz. As respostas não relacionadas à formação de imagem são originadas também na retina e são atribuídas a uma classe específica de células ganglionares da retina (ipRGCs). No olho humano, elas estão conectadas aos fotorreceptores externos, aos cones e aos bastonetes, através de circuitos convencionais da retina, são responsáveis pela fotorrecepção intrínseca de melanopsina, podem receber sinais independentemente e, também, tanto dos cones quanto dos bastonetes através de conexões com células bipolares e amácrinas. Os cones são representados por diferentes cores espectrais e cada um tem sua própria sensibilidade espectral à luz. Esses sinais são combinados dentro das ipRGCs para produzir um sinal integrado que é enviado para centros não formadores de imagem no cérebro [67].

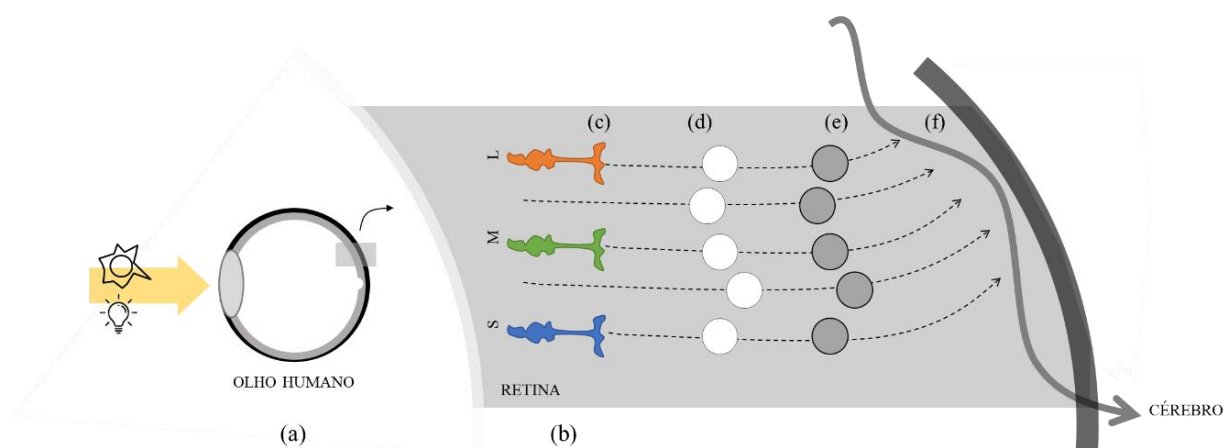


Figura 7 – Imagem esquemática de como funciona a retina no olho humano, com o esquema gráfico do posicionamento dos novos fotorreceptores: (a) é a irradiação na retina no olho humano, (b) a retina em escala aumentada, (c) os cones de sensibilidade *Small*, *Medium* e *Large* – referente aos comprimentos de onda de sensibilidade, (d) são as células bipolares, (e) são os fotorreceptores ipRGCs, e (f) são os sinais integrados deixando a retina. Adaptado de [67].

Estudos desde a descoberta desses novos fotorreceptores – [13], [14] – acontecem identificando esse funcionamento e correlacionando com preferências humanas e distúrbios cronobiológicos, contudo, ainda hoje, pesquisadores estão buscando respostas para um melhor entendimento desse processo [66], [68].



2.1.3 Sensibilidade aos Menores Comprimentos de Onda

A resposta melanópica refere-se à capacidade da luz em influenciar o ritmo circadiano do corpo humano por meio da regulação da produção de melanopsina. A melanopsina é uma proteína sensível à luz que se encontra nas células da retina dos olhos e é responsável por sinalizar o ciclo claro-escuro para o relógio biológico interno do corpo [62], [67], [69]. A pesquisa sobre iluminação circadiana tem procurado entender como a luz, especialmente a luz azul-esverdeada -os menores comprimentos de onda-, afeta a produção de melatonina, um hormônio importante para a regulação do sono e relaxamento.

Isso significa que mesmo pequenas quantidades de luz, como as emitidas por dispositivos eletrônicos como *smartphones* e *tablets*, podem afetar a regulação do ritmo circadiano do corpo humano, interrompendo o sono e contribuindo para problemas de saúde a longo prazo, como distúrbios do sono, depressão e aumento do risco de doenças crônicas. A indústria de iluminação tem buscado replicar essa frequência de luz (azul) em sistemas de iluminação artificial para promover o bem-estar e regular os ritmos circadianos. Estão emergindo novos parâmetros e ferramentas para iluminação circadiana a fim de melhorar o bem-estar dos ocupantes dos edifícios. Isso representa uma contraposição às normas tradicionais brasileiras, que ainda utilizam somente padrões fotópicos.

O *WELL Building Standard*, é um programa de certificação e é administrado pelo *International WELL Building Institute*. Aborda a importância da iluminação para o bem-estar humano e inclui requisitos específicos para a qualidade da iluminação, incluindo a iluminação melanópica. A resposta melanópica do corpo humano é influenciada pela presença de luz azul-esverdeada e desempenha um papel importante na regulação dos ritmos circadianos e no estado de alerta e humor. Ao fornecer iluminação adequada, incluindo iluminação melanópica de alta qualidade, os padrões WELL ajudam a promover a saúde e o bem-estar humano [70]. A Figura 8 ilustra a importância da frequência de menor comprimento de onda correlacionadas com a resposta melanópica.

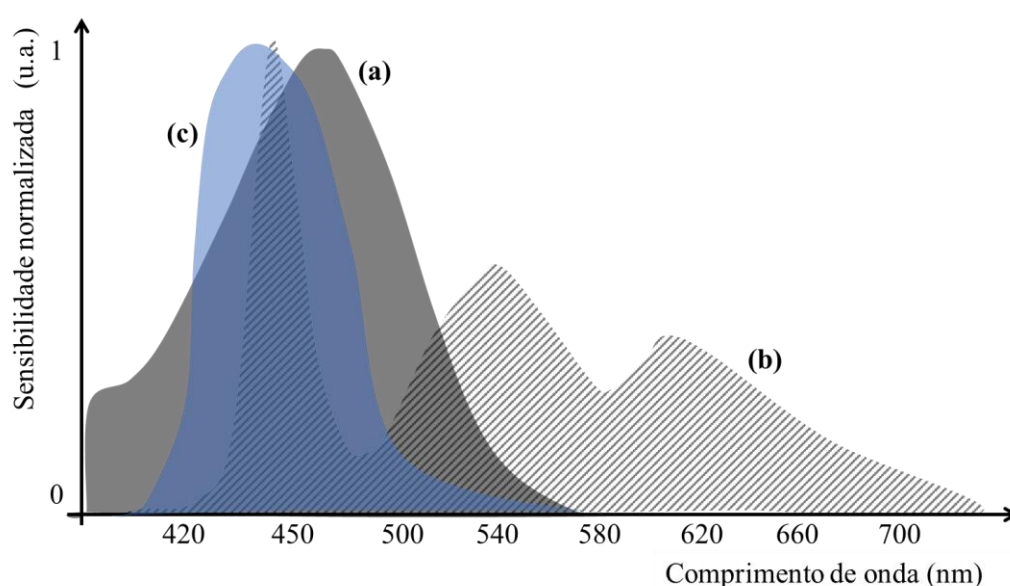


Figura 8 - Ilustração da sensibilidade humana aos diversos estímulos lumínicos, incluindo a resposta melanópica (a), e o espectro advindos das telas artificiais (b) e a luz azul nociva (c). Adaptado de [71].

Os sistemas de iluminação LED foram projetados para aproveitar os efeitos benéficos da resposta melanópica na regulação dos ritmos circadianos, concentrando boa parte do seu espectro na mesma frequência da luz azul. No entanto, é importante ressaltar que a exposição excessiva à luz azul com frequência de 480 nm pode ter efeitos negativos na saúde, tais como interrupção dos ritmos circadianos e insônia. Portanto, é recomendável utilizar a luz LED circadiana com moderação e dentro dos padrões recomendados para evitar tais efeitos negativos [72], [73].

A partir da constatação desse sistema receptor mais complexo do olho humano, foram desenvolvidas novas métricas para medir esse tipo de luz. O lux melanópico é uma unidade específica projetada para refletir a resposta da melatonina humana à luz e sua capacidade de regular os ritmos circadianos. A luz EML é medida em lux, mas é diferente de unidades como lux ou candelas, que medem apenas a quantidade de luz visível. A medida EML é considerada importante para garantir que a iluminação em edifícios e ambientes de trabalho seja otimizada para promover o bem-estar humano e a saúde, incluindo o sono e a regulação dos ritmos circadianos. A medida EML, por exemplo, é usada como uma das métricas para avaliar se a iluminação de um edifício atende aos padrões *WELL* e é um indicador importante para avaliar se um ambiente de trabalho está promovendo a saúde e o bem-estar dos trabalhadores. É uma medida ainda usada timidamente no âmbito comercial, mas muitos estudos já adotam essa nova métrica [74]–[78].



A resposta melanópica à luz é um fenômeno importante na compreensão dos efeitos da iluminação artificial no corpo humano. A indústria de iluminação está interessada em produzir luz azul mais eficiente para imitar o efeito da luz do dia, mas a implementação deste tipo de iluminação pode ser contraditória. Por um lado, a luz é projetada para melhorar a saúde e o bem-estar, mas por outro, é usada principalmente durante o dia de trabalho, que pode ser contraproducente para trabalhadores por turnos. Na Figura 9, é possível localizar em qual momento de sensibilidade do olho humano ocorre a supressão de melatonina. Esses resultados demonstram a importância do novo fotopigmento no olho humano e como ele pode ser o principal responsável pela regulação da melatonina.

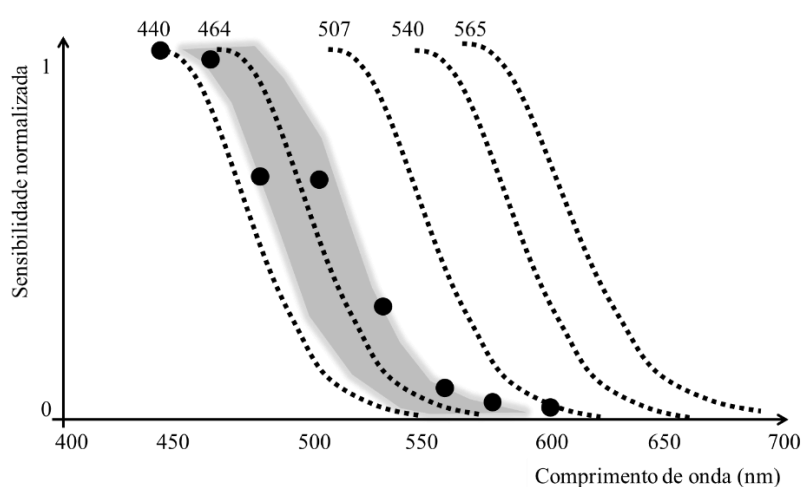


Figura 9 . Gráfico de sensibilidade em diferentes comprimentos de onda e, nos círculos pretos, a ocorrência de supressão de melatonina. Adaptado de [39].

Esses estudos questionaram a teoria de que o sistema visual fotópico intermedia as respostas circadianas e neuroendócrinas, e demonstraram que o comprimento de onda de pico de 555 nm é ineficaz na supressão da melatonina em comparação com comprimentos de onda mais curtos, como 460 a 480 nm. Portanto, é evidente que outros sistemas sensíveis à luz, como o sistema melanopsínico, são mais envolvidos na regulação dessas funções. Esses achados são importantes para compreender a interação da luz com o corpo humano. O papel do sistema visual fotópico na regulação das funções circadianas e neuroendócrinas não é tão significativo como se pensava anteriormente, e mais pesquisas são necessárias para entender completamente os mecanismos complexos envolvidos nesses processos.



2.2 Antártica como Laboratório Experimental Principal

A pesquisa de ritmo circadiano na Antártica é uma área desafiadora e interessante, devido às condições extremas em que as pessoas estão submetidas, com condições climáticas severas e isolamento geográfico extremo. A dificuldade logística é um dos principais desafios enfrentados pelos pesquisadores e pelo pessoal de apoio que trabalham na Antártica, desde a obtenção de equipamentos especializados até o transporte de suprimentos e a comunicação com o mundo exterior.

Conforme comentado anteriormente, viver por longos períodos na Antártica expõe o usuário a extremos em relação a diversos fatores, e a iluminação natural é um deles. A exposição a extremos de luz na Antártica pode ter efeitos significativos na vida e comportamento de seres vivos que habitam a região. Por volta dos anos 70 do século passado, a ciência descobriu o mecanismo do ritmo circadiano e identificou a secreção de melatonina como o guia fisiológico regulador desse ciclo. Houve também, entre as descobertas, a relação entre essa produção hormonal e o ciclo temporal natural de 24 horas, guiado pelo movimento da luz solar de dia e noite. Há também indícios de outras indicações de tempo que incluem: refeições programadas, sono, interações sociais, exercícios, e outros hábitos individuais que interferem e caracterizam o ritmo circadiano de cada indivíduo [79].

Durante o ano de 1986 foi realizado, na estação científica britânica Halley, na Antártica, um experimento com habitantes locais, correlacionando a luz, em eventos naturais especiais como equinócios e solstícios, e a possível interferência fisiológica humana. Os resultados, de um tratamento de luz brilhante em usuários, sugeriram que há uma resposta humana nos ritmos de melatonina devido à exposição à luz. Essa afirmação associou os ritmos circadianos humanos à uma dependência fotoperiódica [38]. Uma década antes, em 1975, Patterson fez uma pesquisa semelhante tentando associar distúrbios do sono e diferenças sazonais de 24h de luz contínua e 24h de ciclo escuro contínuo. Os resultados também mostraram uma diferença de consistência entre o sono de ondas lentas de diferentes períodos [9]. Após 30 anos, Josephine Arent ainda pesquisa sobre esse tema, sendo que o uso do tratamento com luz para manter a sincronia do ritmo circadiano ainda está em avaliação. Nos estudos mais recentes da pesquisadora, a tecnologia foi empregada e o uso de lâmpadas especiais para tratamento de luz artificial com



luz complementar foi aplicado nos habitantes da Halley, apresentando resultados positivos na sincronização circadiana [4].

Outros estudos na Estação Antártica Halley, mencionaram que a falta de luz solar durante 110 dias no inverno pode afetar a produção da melatonina [34]. Além disso, o fotoperíodo, ou seja, o período de luz do dia, é um sinal importante que muitas espécies utilizam para determinar o ritmo circadiano. Portanto, a falta de luz solar ou a presença de iluminação artificial contínua pode afetar negativamente a saúde e o comportamento de seres vivos não nativos e que vivem na Antártica. Por isso, a iluminação nas estações de pesquisa científica é – ou deveria ser – cuidadosamente controlada para minimizar o impacto também nos ecossistemas locais.

Na base brasileira, a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), localizada na Península Keller (Ilha Rei George), a situação não é tão extrema [80]. Os moradores da EACF podem passar pequenos períodos – como os pesquisadores, que realizam atividades na Antártica somente no verão e por cerca de um mês – ou um ano, como os militares responsáveis pelas atividades de operação e manutenção da edificação. Esses últimos são os que podem sofrer maior interferência nessa exposição diferenciada à luz, considerando ainda que essa nova rotina de luz é muito diferente da realidade cultural e geográfica do país de origem.

Estas observações e previsões levaram a uma longa série de estudos sobre os padrões sazonais e circadianos, e os efeitos dos tratamentos de luz. O atraso circadiano, evidenciado pela melatonina, foi verificado por atraso no sono (detectado com actigrafia), observando-se que falta de sono é uma queixa comum nas regiões polares. Adicionalmente, luz artificial extra branca e vermelha foram testadas em estudos antárticos e o grupo sob tratamento da luz vermelha se readaptou mais rapidamente que o testado com luz branca [81].

Quase 20 anos depois desses experimentos, ainda se testa o tratamento com luz para os distúrbios do sono relatados nas bases antárticas. Com mais propriedade sobre o assunto, atualmente, os pesquisadores apontam horários adequados para o tratamento e o tipo de luz mais eficiente, com resultados positivos [30]. O sono, o estado de alerta e o desempenho em vigília dependem criticamente da fase circadiana ideal. Observa-se que a dessincronia circadiana está associada ao aumento do risco de doenças graves, principalmente em trabalhadores por turnos. Esses estudos, dadas as condições extremas em que são realizados, fornecem informações e direcionamento para combater e evitar a dessincronia circadiana também para condições de rotina. Assim, pode-se afirmar que as investigações para esse tipo



de monitoramento são importantes principalmente utilizando um local como a Antártica, pois as mudanças fotoperiódicas são extremas e os voluntários são submetidos a um calendário social bem restrito e controlado, logo, outras influências externas são reduzidas em variedade e intensidade.

Contudo, estudos que monitoram o ser humano são geralmente incômodos ou invasivos. Há pesquisas onde foram relatadas as necessidades de medições de temperatura retal, coleta de sangue e de urina, dentre outros [29], [82]. O fato é que o tema ainda precisa ser pesquisado e equipamentos mais confortáveis e menos invasivos são necessários, uma vez que o objetivo desses estudos é a busca do conforto humano.

As estações antárticas são instalações permanentes ou temporárias, localizadas na Antártica para fins de pesquisa científica, monitoramento ambiental e também com finalidades estratégico-políticas. Elas estão distribuídas por todo o continente, com foco principalmente nas regiões costeiras e nas zonas de alta latitude. Atualmente, existem cerca de 70 estações antárticas em operação, que são usadas para diversos fins, mas com predominância na atividade científica. A Figura 10, ilustra o continente antártico com a maioria das estações localizadas na borda costeira (a) e em (b) um detalhe da Ilha Rei George, e em destaque – círculo vermelho - a localização da EACF.

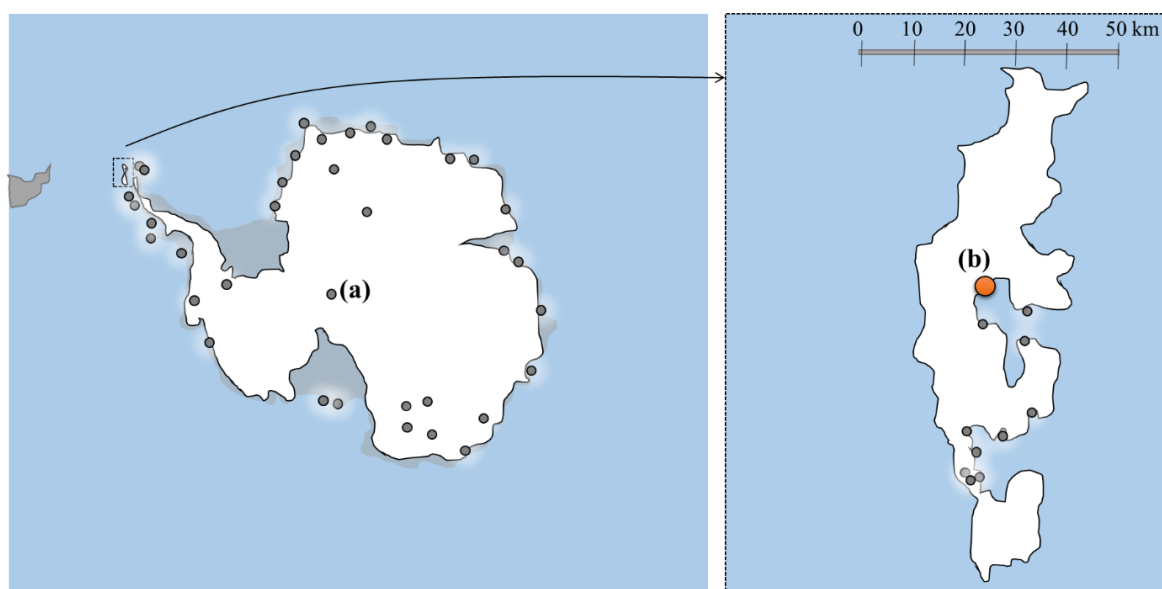


Figura 10 – (a) Mapa do continente antártico, com a localização das estações científicas; (b) localização da EACF, na Ilha do Rei George. Adaptado de: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/eacf>, acesso em 28/03/2023.



As estações antárticas, mesmo construídas por diferentes países, possuem características arquitetônicas e construtivas semelhantes, que visam suportar as condições climáticas adversas da Antártica, esses parâmetros são classificados como indicadores ambientais e fazem parte do programa construtivo de edificações desse tipo [83]. Para exemplificar, algumas dessas características incluem:

- Isolamento térmico - as estruturas são projetadas para se manterem aquecidas e livres de correntes de ar gelado. Buscam, ainda, demandarem o mínimo de energia para condicionamento térmico.
- Robustez - o material de construção deve ser resistente aos ventos fortes e neve pesada. A escolha dos materiais também leva em consideração a necessidade de mínima manutenção.
- Mobilidade - algumas estações são projetadas para serem facilmente removidas ou desmontadas, dependendo das necessidades de pesquisa ou das condições ambientais.
- Sustentabilidade - as estações contemporâneas são projetadas para serem eficientes em energia e utilizarem fontes de energia renováveis. Além disso, muitas edificações contemplam, também sistemas de reaproveitamento de águas servidas e equipamento para tratamento dos resíduos sólidos.
- Conforto - as estações são setorizadas em espaços de: convivência (como as salas de estar e refeitórios), de apoio (como a cozinha, lavanderia, paióis), de trabalho (como os laboratórios e escritórios), privados (como os camarotes e sanitários), de manutenção (como: as oficinas, os espaços de geração de energia, e de armazenamento).

Em geral, as estações antárticas são projetadas para serem funcionais e seguras, oferecendo proteção contra as condições climáticas adversas e possibilitando a realização de pesquisas e estudos científicos na região. Destaca-se que uma das principais preocupações em relação à segurança em uma edificação antártica refere-se ao risco de incêndio, considerando sua alta fragilidade em função de grande parte dos materiais e equipamentos serem combustíveis.

Considerando que a Antártica é uma área de proteção ambiental, é necessário prever todos os impactos, em todos os níveis sobre o meio ambiente, e elaborar documentos que apresentem estratégias para evitá-los. O aumento do número de edificações e indivíduos interessados no continente (por exemplo, turistas e pesquisadores) representa uma ameaça crescente à integridade e vulnerabilidade ecológica das áreas protegidas [84].



Diante desse contexto, a avaliação dos efeitos da luz no ritmo circadiano pode trazer importantes contribuições para a melhor compreensão da relação entre seres humanos e ambiente em condições extremas, corroborando para acentuar o papel da Antártica como um local de pesquisa científica, rumo a estratégias mais eficazes de proteção ambiental e de gestão de recursos naturais.

Um estudo de monitoramento da luz e do ritmo circadiano na EACF pode ter impactos importantes para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas e sustentáveis para a operação da Estação, permitindo uma maior autonomia e segurança para as atividades de pesquisa. Além de poder somar experiências com outras estações científicas antárticas, pois as questões relacionadas ao ambiente e ao bem-estar humano em regiões extremas são comuns a todas as bases de pesquisa, como já citado em alguns exemplos.

2.2.1 O Estudo de Caso na EACF e o Grupo Controle na EAMES

O estudo do ritmo circadiano e seus efeitos sobre o ser humano e o ambiente é um tema de grande interesse em diversas áreas da ciência, incluindo a biologia, medicina, ecologia e psicologia. Para abordar esse assunto, a parte experimental da pesquisa aconteceu em duas posições geográficas estratégicas: o primeiro local escolhido foi na EACF como estudo de caso principal, uma vez que a região antártica é considerada um ambiente extremo, com características ambientais e de iluminação únicas no mundo. Além disso, foi também escolhida a Escola de Aprendizes-Marinheiros no Espírito Santo (EAMES) como estudo de caso para uma análise transversal, permitindo comparações e contrastes entre duas bases militares, em diferentes locais e com diferentes condições ambientais. Dessa forma, a utilização desses dois locais pode fornecer informações para entender como o ritmo circadiano pode ser influenciado por condições extremas e urbanas, e como esses efeitos podem afetar tanto o ser humano quanto o ambiente.

A EACF está localizada na Ilha Rei George, próxima da Península Antártica. O outro local escolhido, a EAMES, está na cidade de Vila Velha, estado do Espírito Santo, Brasil, zona tropical, conforme pode ser visto na Figura 11.

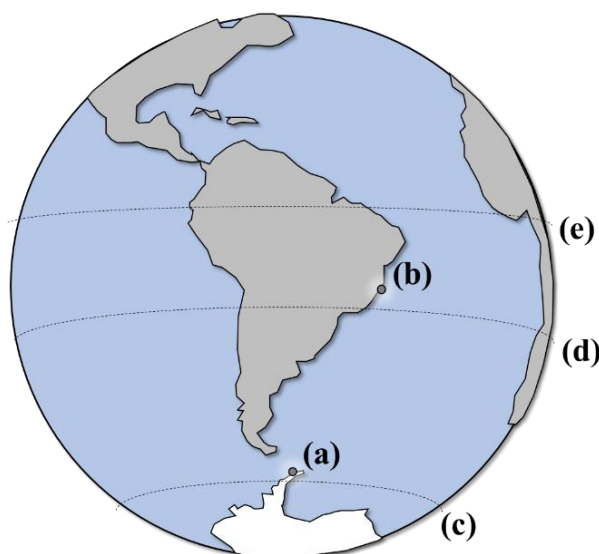


Figura 11 - Mapa-múndi esquemático do hemisfério sul com a representação do posicionamento aproximado dos estudos de caso do projeto: EACF (a); EAMES (b); círculo polar Antártico (c); trópico de Capricórnio (d) e o a linha do Equador (e). Adaptado de:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazil_\(orthographic_projection\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazil_(orthographic_projection).svg) , acesso em: 23/03/2023.

As duas localizações não se justificam apenas pelas suas posições geográficas, mas também por serem lugares com diferenças importantes em relação à luz natural e semelhanças relevantes quanto aos usuários, ou seja, são duas bases militares (supostamente, com atividades regulares e repetitivas), que possibilitam o recolhimento de dados de pessoas com perfis e hábitos semelhantes.

Na Figura 12, é possível visualizar como o acesso à luz natural das edificações dos estudos de caso são diversos. Na Estação Antártica, em dezembro, o Sol nasce antes das 3h da manhã e se põe após as 21h. No mês de junho, o Sol nasce as 10h e se põe as 14h, ficando na abóboda celeste à uma altura de 5°, como um grande pôr do Sol de 4h. A Escola de Marinheiros, diferentemente da EACF, apresenta o percurso solar mais parecido em todas as estações, com os horários de nascer e pôr do sol variando somente em torno de 1h, entre todos os meses do ano.

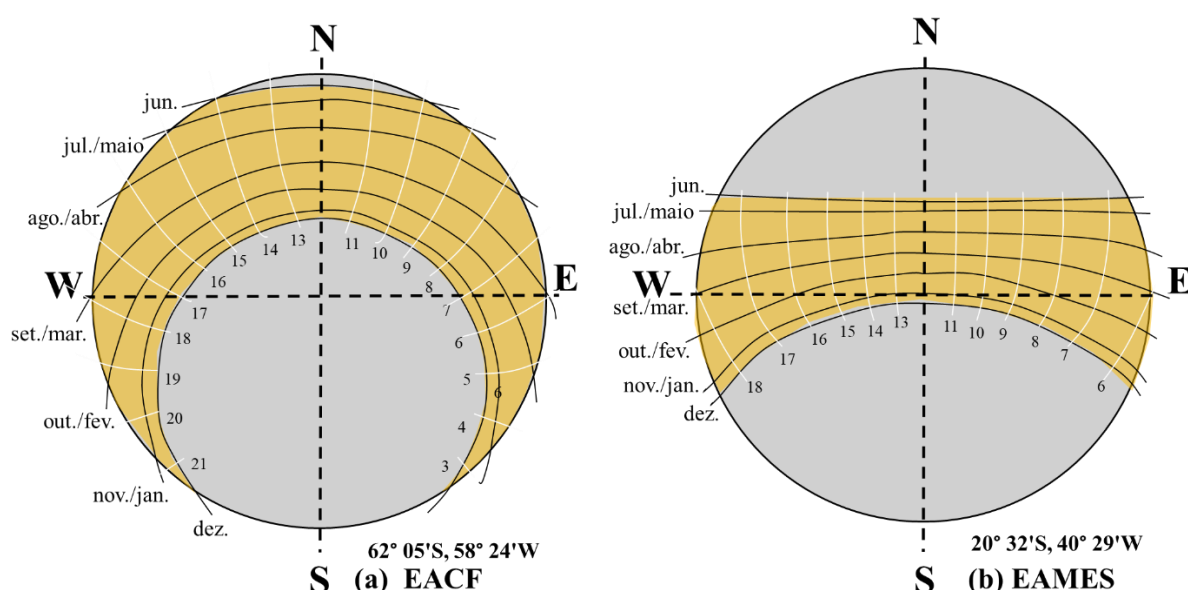


Figura 12- Representação das Cartas solares referentes ao posicionamento da EACF (a) e da EAMES (b). O grande círculo cinza representa o planeta, e a área hachurada em amarelo representa o percurso do Sol anual na abóboda celeste, sendo que as linhas pretas são a trajetória diária do Sol no mês indicado, e as linhas brancas são os horários. Fonte: Adaptado do Programa RELUX PRO.

2.2.2 A EACF - Estação Antártica Comandante Ferraz

A EACF é uma das mais modernas estações antárticas do mundo, com infraestrutura completa para apoiar a pesquisa científica na região. Além dos ambientes comuns numa estação científica – como camarotes, cozinha, refeitório, paióis, frigoríferos, lavanderia, etc. – a EACF também possui ambientes que contribuem para o conforto – como biblioteca, salas de reuniões, ginásio, sala de vídeo, enfermaria, etc. – e espaços para o desenvolvimento das atividades científicas, como os laboratórios. Faz parte ainda do complexo os ambientes relacionados à logística de operação e manutenção da Estação, como as oficinas, área de tratamento dos resíduos sólidos, casa de máquinas, paióis, garagem de veículos, etc.

A Estação é equipada para possibilitar a realização de pesquisas nas áreas de Ciências da Vida, Ciências Atmosféricas, Ciências da Terra e Tecnologia. Dentre as pesquisas mais relevantes, destaca-se que a EACF é um importante centro de monitoramento climático global, ajudando a compreender as mudanças climáticas e suas consequências para o planeta.



A EACF está localizada na Península Keller, na Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, arquipélago das Shetland do Sul, na posição de latitude 62° 05'S e longitude 58° 24'W, a cerca de 120 km da Península Antártica [85].

Esta construção, inaugurada em janeiro de 2020 (Figura 13), substituiu o antigo edifício, formado por contêineres, destruído em 2012 por um incêndio. O edifício atual foi concebido a partir de um projeto ganhador de um concurso, com soluções que incorporam os resultados de estudos desenvolvidos ao longo de três décadas e sumarizados no Termo de Referência do concurso [86].



Figura 13 - Vista do edifício principal da Estação Antártica Comandante Ferraz na inauguração, em 15 de janeiro de 2020. Foto: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/eacf>, acesso em: 28/03/2023.

A EACF é uma estação científica singular, que incorpora soluções inovadoras que também podem ser replicadas para outras situações. Além disso, a presença de usuários com hábitos culturais diferentes, oriundos de várias localidades e tendo que se adaptar às condições da Antártica, permite a análise de como as adaptações precisam ser feitas para atender às necessidades dos indivíduos.

Além disso, a investigação em estudo de caso na EACF se justifica na medida em que o isolamento do ambiente – e, conseqüentemente, da minimização dos possíveis fatores de interferência em eventuais mudanças de comportamento – permite a compreensão da dinâmica



e das interações humanas e ambientais, e como estas afetam a sustentabilidade e o bem-estar dos usuários e da Estação em si.

A EACF pode ser usada como uma plataforma para pesquisas e experimentos envolvendo a utilização da luz como fonte de energia, iluminação e outras aplicações tecnológicas. Além disso, a variação de luminosidade ao longo do ano pode ser aproveitada para estudar seu impacto nas pessoas e nas atividades realizadas na Estação, levando ao desenvolvimento de soluções mais eficientes e humanizadas, oferecendo oportunidades para a criação de projetos envolvendo a luz e a performance de iluminação. Desta forma, a Estação pode se tornar um espaço para a reflexão sobre o uso da luz na sociedade e seu impacto no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar esse espaço singular de pesquisa, na Figura 14 pode-se visualizar a edificação principal da EACF ao centro da imagem, e seu entorno imediato.



Figura 14 - Imagem da Estação Antártica Comandante Ferraz e da Baía do Almirantado, no inverno. Foto: Dra. Nicole Pimentel, Grupo Base 2020-2021.

O local apresenta uma riqueza de possibilidades para a investigação e experimentação com a luz, e pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas nesse tema e para a conscientização sobre sua importância e uso. Destaca-se que, como comentado anteriormente, o fato da localização ser isolada, geograficamente e socialmente, proporciona um laboratório natural, com a redução das variáveis urbanas.

A condição de isolamento propicia inferir que as medições obtidas por meio de tecnologias de monitoramento e controle relativo de variáveis em seres humanos proporcionarão evidências



acerca da efetiva contribuição da luz na rotina humana. Mesmo que outros fatores, como horários de alimentação ou temperatura, possam exercer alguma influência, mudanças significativas no comportamento poderão ser observadas nas medições em decorrência da variação da luz ao longo do dia ou da noite. Ademais, embora o isolamento social e a ausência de interação com o mundo externo possam estimular alterações nos padrões de sono e alimentação, todos os voluntários participantes da pesquisa seguem uma rotina uniforme, o que corrobora a premissa de que a variação da luz, sem muitas variáveis extras, pode exercer uma influência preponderante sobre o comportamento humano, o que fica evidenciado nas medições.

2.2.3 EAMES - a Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo

O edifício histórico da EAMES foi construído em 1954, na Enseada do Inhoá, na cidade de Vila Velha no Espírito Santo (Brasil) ao lado do tradicional e estratégico local da Escola fica o Forte São Francisco Xavier, hoje ocupado pelo atual 38º Batalhão de infantaria do Exército, latitude 20° 32'S, e longitude 40° 29'W. Desde então, a construção dedica-se à formação de marinheiros [87].

A EAMES é reconhecida por ser uma das escolas mais importantes na formação de marinheiros e é referência na formação de profissionais capacitados para enfrentar as adversidades e desafios do mar. O edifício tem sido um local de formação para centenas de jovens e contribuiu para a formação de profissionais altamente qualificados. A arquitetura do edifício é caracterizada por sua simplicidade e funcionalidade. As paredes sólidas e robustas foram projetadas para proteger os alunos dos elementos climáticos adversos, enquanto o grande pátio central é usado para a realização de atividades ao ar livre (Figura 15).



Figura 15 – Foto da fachada principal do edifício da Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo. Foto: a autora.

Os usuários deste edifício são oficiais, estudantes e professores, sendo que todos obedecem a uma rotina e treinamento militar. Ambos os grupos (EACF e EAMES) são caracterizados por uma rotina rigorosa e um alto grau de organização e disciplina. Além disso, eles têm conhecimentos especializados e são treinados para lidar com situações adversas e desafiadoras. Portanto, ambos se encaixam no perfil dos participantes do estudo de monitoramento, considerados como iguais.

2.3 Ferramentas da Engenharia

A tecnologia tem sido uma grande aliada para melhorar a compreensão sobre a sensibilidade humana à luz. Com o uso de sensores e dispositivos eletrônicos, é possível mensurar e analisar com precisão como a luz afeta os seres humanos e as atividades visuais e não visuais. Por exemplo, dispositivos como luxímetros e espectrômetros medem a quantidade de luz e a composição espectral da luz, respectivamente, permitindo aos profissionais da área da saúde avaliarem como diferentes tipos de luz podem afetar a visão e o bem-estar geral de uma pessoa.

A tecnologia também tem permitido o desenvolvimento de dispositivos de iluminação inteligente, que podem ser ajustados para se adequarem às necessidades individuais de cada pessoa, como ajustar a intensidade da luz para melhorar o desempenho visual ou diminuir a fadiga ocular. A tecnologia também está sendo usada para criar soluções para pessoas com diferentes condições, como à fotossensibilidade, que pode ser controlada por meio de



dispositivos eletrônicos que ajustam a intensidade e a composição da luz para garantir o bem-estar dessas pessoas [88].

Os equipamentos de monitoramento são essenciais em diversos campos da ciência, como na medicina, na engenharia, na biologia, na química, entre outros. Eles permitem a coleta de dados precisos e contínuos sobre determinado processo, fenômeno ou condição; possibilitando a análise e o entendimento mais profundo do que está sendo estudado.

Os custos desses equipamentos podem variar bastante, dependendo da sua finalidade e complexidade, os valores de equipamentos simples custam menos de mil reais enquanto outros mais sofisticados mais de dez mil reais¹.

Além do valor do próprio equipamento, é importante considerar outros fatores que podem influenciar no custo total do processo de monitoramento como o: da manutenção, do treinamento dos usuários, dos consumíveis (como soldas, fios, filamentos, etc..) e do processamento e análise dos dados coletados.

É indiscutível que os equipamentos de monitoramento são importantes ferramentas para o entendimento de fenômenos e, conseqüentemente, para o avanço da pesquisa científica. O monitoramento contínuo e confiável permite avanços importantes em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, os espectrômetros, onde é possível medir com precisão os efeitos da luz sobre o corpo humano.

Nesta seção serão explanadas as tecnologias que fazem parte desta pesquisa como a actigrafia, a espectrometria, a Internet das Coisas, além de recursos para visualização dos parâmetros do ritmo circadiano e as métricas utilizadas.

2.3.1 Actigrafia

A qualidade de vida é uma busca constante do ser humano e também foco de muitas pesquisas, inclusive na área da medicina, engenharia, tecnologia e psicologia. A procura científica por equipamentos que monitorem o comportamento humano e o ambiente construído é um desafio

¹ Equipamentos simples, como termômetros e barômetros, costumam ser mais acessíveis, podendo custar em torno de R\$ 200,00, enquanto equipamentos mais sofisticados, como espectrômetros, podem ter um custo bastante elevado, em torno de R\$ 12.000,00 ou mais.



na área da engenharia, uma vez que, com o desenvolvimento da tecnologia, é ela que busca integrar as novas descobertas em dispositivos e sensores que fazem a área de interação entre necessidade e conhecimento.

A actigrafia é uma técnica usada na medicina e pesquisa do sono para monitorar a atividade física e o ciclo de vigília-sono de uma pessoa ao longo do tempo. Geralmente, um dispositivo portátil conhecido como "actígrafo" é usado para medir a atividade motora, como movimentos do braço ou da perna, e registrar os dados em intervalos regulares durante um período de tempo específico, geralmente de vários dias a algumas semanas. Esses dados são analisados para determinar os padrões de sono e vigília da pessoa, apresentando, por exemplo, o tempo total de sono, a duração dos períodos de vigília e sono, e a eficiência dessas atividades [89].

A utilização de máquinas equipadas com sensores é uma estratégia eficiente para a obtenção e análise de dados sem que ocorra interferência nas atividades humanas ou na acurácia das informações coletadas. Atualmente, a busca pela seleção do melhor equipamento para o monitoramento humano, como os sensores vestíveis, é uma possibilidade viável mediante a disponibilidade de produtos comercialmente disponíveis no mercado. Tais recursos tecnológicos possibilitam a investigação, não apenas dos dados humanos, mas também da influência da luz sobre o sistema cronobiológico.

Um *smartwatch*, ou relógio inteligente, é um actígrafo: um relógio aparentemente padrão, com recursos de monitoramento que vão além de tarefas simples, como mostrar as horas. Hoje, os relógios inteligentes são efetivamente computadores de pulso, capazes de rastrear usuários durante todas as atividades diurnas e noturnas.

Com alguns dispositivos embutidos no design do conhecido relógio de pulso, esse equipamento já faz parte de diversos estudos de monitoramento, principalmente na área médica. Podem auxiliar no acompanhamento do paciente e informar ao profissional da área de saúde sobre quaisquer alterações pertinentes ao tratamento, assim como, em situações de cirurgias e medicamentos com possíveis efeitos colaterais, onde o acompanhamento pontual tem sido muito bem sucedido [90], [91].

Esses tipos de relógios podem incluir funções como câmera, bússola, calculadora, telefone celular, acelerômetro, termômetro, altímetro, barômetro, cronógrafo, GPS, visualizador de mapas, infográficos, alto-falante, calendário eletrônico, acesso à Internet, reproduzidor de música



e vídeo e vários outros recursos de diversas aplicações relacionadas a entretenimento e monitoramento. No entanto, essa tecnologia compacta requer um *software* e acompanhamento profissional para traduzir todos os dados coletados em respostas para o corpo humano, psicológica e fisiologicamente. Os valores de mercado dos actígrafos variam muito, dependendo do design e funções do relógio.²

As pesquisas atuais que utilizam o recurso dos sensores vestíveis evidenciam o monitoramento por meio da coleta de informações de sensores internos e externos e têm aprofundamento em diversas áreas médicas pertinentes a cada necessidade, tais como as pesquisas cardiovasculares e renais; e as relacionadas ao estresse, problemas hormonais, entre muitas outras [92], [93].

De acordo com a literatura disponível, a maioria das pesquisas sobre monitoramento humano foca em aspectos relacionados às características do *software*. Dentre essas características, destacam-se a forma que os dispositivos oferecem interação com programas de computador, os quais oferecem uma plataforma que permite ao paciente e ao clínico obter dados para diagnóstico precoce e preciso, bem como monitoramento constante de pacientes que sofrem de transtornos mentais [94].

Ressalta-se que o monitoramento humano por meio de *software* pode controlar e detectar a baixa adesão à medicação prescrita que pode comprometer a eficácia do tratamento e aumentar o custo em despesas desnecessárias com a saúde. Assim, os sistemas digitais são capazes de estimar a adesão sem envolvimento extensivo do utilizador e podem potencialmente fornecer maior precisão com menores problemas para o utilizador, para fornecer as informações necessárias para resolver o problema detectado [91].

O recurso da IoT na tecnologia de automação residencial possibilita o uso acessível de sensores inteligentes, dessa forma, a tecnologia vestível conecta o indivíduo à rede de monitoramento. O transtorno de estresse pós-traumático, por exemplo, pode dessa forma ser controlado com um sistema para monitorar sinais de pesadelos, tentar suprimi-los ou acordar o paciente lentamente, melhorando assim a qualidade de vida. Esse tipo de monitoramento pode, ainda, reduzir as taxas de depressão e suicídio [95].

² Os valores de mercado, em 2023, de equipamento de actigrafia pode variar desde menos que R\$ 100,00 até quase R\$2000,00.



Também em situações de monitoramento do impacto da privação do sono, os sensores vestíveis fornecem uma medição da temperatura do corpo humano. Desta forma, monitorar a estabilidade dos ritmos circadianos pode substituir medições médicas constantes e ensaios clínicos, os quais geralmente costumam aumentar significativamente os custos do tratamento [96].

Em relação às preocupações de segurança, também existem estudos que construíram um modelo que permite aos utilizadores selecionar suas preferências de privacidade para os dados coletados, para fins de verificação de resultados [97].

Um monitor vestível combinado com equipamentos como amplificador, microcomputador, acelerômetro triaxial e cartão de memória podem observar claramente os ritmos circadianos. Dependendo da quantidade de dados coletados, para esse monitoramento específico pode ocorrer a necessidade de troca da bateria e o cartão de memória em um tempo reduzido [93].

Para desenvolver uma estrutura de monitoramento baseada em dados de pulseiras inteligentes em tempo real e online, é necessário atentar-se aos procedimentos do próprio aplicativo do dispositivo que será utilizado para coletar e pré-processar os dados, bem como no servidor ou *software* que será usado para armazenar e recuperar informações, além de monitorar remotamente ou para outros fins administrativos. A interoperabilidade entre os sistemas deve funcionar plenamente, a fim de permitir a troca de informações entre pacientes e especialistas, bem como incentivar a autogestão do paciente [98], [99].

As aplicações de tecnologia vestível para monitoramento humano têm muitos tipos de métricas: frequência cardíaca, variabilidade da frequência cardíaca, frequência respiratória, postura corporal, velocidade corporal, aceleração corporal, rotação e orientação corporal, velocidade angular, oxigênio no sangue, pressão arterial, temperatura corporal, nível de atividade, queima de calorias, passos, temperatura ambiente, pressão ambiente, umidade, nível de ruído, intensidade da luz, qualidade do ar. São informações que precisam ser reunidas e analisadas, podendo ser utilizadas para o aperfeiçoamento do usuário. Além disso, os dados do monitoramento também podem informar detecção de objetos, navegação, medição de distância e detecção de proximidade, rastreamento de localização de trabalhadores, rastreamento de materiais e rastreamento de localização de veículos/equipamentos. As tecnologias utilizadas nesses dispositivos são baseadas em diferentes sistemas, desde identificação por radiofrequência (RFID), campo magnético, radar, banda ultralarga (UWB), ultrassônico, sonar, Bluetooth, Global Positioning System (GPS), laser, câmera de vídeo e estática,



eletrocardiograma (ECG/EKG) e eletromiografia (EMG), até sensores com resposta galvânica da pele (GSR), acelerômetros, giroscópios e magnetômetros, os quais compõe uma rede de sensores corporais [100].

Com esses recursos, os relógios inteligentes têm o potencial de apoiar a saúde na vida cotidiana permitindo o auto-monitoramento da atividade pessoal, a obtenção de respostas com base em medidas de atividade, o desenvolvimento de pesquisas para identificar padrões de comportamento, bem como apoiar a comunicação bidirecional com os profissionais de saúde e familiares. Sajeev *et al.* (2017) desenvolveram estudos que identificam as características da tecnologia de monitoramento e comparam seus desempenhos [101]. Reeder e David demonstraram que os relógios inteligentes, mesmo com tantos dispositivos e recursos, são uma tecnologia emergente e a pesquisa com esses dispositivos está em um estágio inicial [102].

Witt *et al.* (2019) agruparam um total de 171 estudos que incorporaram sensores vestíveis em métodos ou objetivos de pesquisa, onde foram selecionados indicadores relacionados à saúde, a partir dos dados destes dispositivos inteligentes. Parte desses estudos que examinaram se a atividade física circadiana e os padrões de sono-vigília medidos pelo sensor de atividade de relógios inteligentes vestíveis estavam associados às avaliações de funcionamento [103], [104].

Algumas pesquisas vão além do desenvolvimento de *software* para melhorar a comunicação entre paciente – equipe médica – família, ou no que diz respeito ao design e funcionamento da pulseira inteligente. Estas pesquisas criam diferentes contextos e necessidades de uso de dispositivos vestíveis inteligentes, ajustando seu design e eficácia, não apenas no corpo, como nas roupas, mas também em carros e muitas outras situações [105], [106]. Já a pesquisa relacionada ao vestuário inteligente discute seu cenário de uso e o modo de transmissão de dados com plataformas de computador e propõe um sistema de monitoramento da saúde eficiente sem necessariamente ser um relógio no pulso [107].

Ainda há novos recursos que incluem sensores fotopletismográficos vestíveis, que é uma técnica óptica simples e de baixo custo que pode ser usada para detectar alterações no volume sanguíneo no leito microvascular do tecido [108]. Eles estão na forma de pulseiras e relógios e se tornaram cada vez mais populares em serviços de saúde móveis [109].

Como os centros de termorregulação estão localizados profundamente no cérebro, a temperatura cerebral é um dos marcadores mais importantes da febre, dos ritmos circadianos



das atividades físicas e mentais. Para substituir a medição usual que ocorre pela sonda retal, a pesquisa científica também busca desenvolver um sensor de temperatura do núcleo cerebral, que tem sido utilizado para medição experimental da temperatura cerebral durante a atividade mental, para o estudo do ritmo circadiano [110].

Além disso, as pulseiras de relógios existentes no mercado ainda buscam a melhoria do conjunto de recursos, como dispositivos vestíveis de design, que permitem a aquisição dos seguintes sinais: ECG de derivação única, sinal de respiração, temperatura corporal e ambiente, pressão barométrica, intensidade de luz e aceleração [111].

Os resultados destes estudos sugerem que os sensores vestíveis são uma ferramenta útil para medir indicadores relacionados à saúde. Além disso, a combinação de dados de atividade física, sono-vigília e outros indicadores de saúde pode fornecer informações valiosas sobre o estilo de vida e a saúde geral das pessoas. No entanto, é importante destacar que a precisão dos dados coletados por esses dispositivos ainda precisa ser validada por estudos adicionais.

No momento de escolher um dispositivo vestível de monitoramento, é de suma importância levar em consideração o prazer ou desconforto que um usuário pode sentir ao utilizá-lo, bem como as implicações relacionadas ao controle dos seus movimentos e vida privada. É necessário incluir tais aspectos como variáveis na tomada de decisão, visto que cada marca e design escolhido pode afetar os dados coletados e o conforto no uso diário.

Com base nas informações disponíveis, é possível inferir que há uma relação positiva entre a quantidade de sensores presentes em um dispositivo vestível e a quantidade de dados coletados do usuário, ou seja, quanto maior o número de sensores, maior tende a ser a quantidade de dados coletados.

2.3.2 Espectrometria

A espectrometria estuda a luz que nossos olhos veem e que o cérebro é capaz de interpretar. Faz parte da onda eletromagnética que o Sol envia dentro de uma ampla faixa de frequência chamada espectro. Os olhos detectam apenas uma pequena porção do espectro solar que é chamado de espectro visível ou luz visível. O espectro visível é o subconjunto de frequências com alta intensidade e, ao longo de milênios, como resultado da evolução do olho humano pode detectar, ver e interpretar a parte mais importante do espectro de luz que atinge o planeta [112].



Quando a luz atinge um objeto e não é totalmente absorvida, parte da mesma retorna, sendo este um fenômeno óptico conhecido como reflexão. Se esta luz refletida está à vista e traz algumas das frequências do espectro visível, então vê-se a cor correspondente. Por exemplo, quando se identifica uma folha verde, significa que a folha absorveu todas as frequências com uma única exceção: o componente verde, uma radiação eletromagnética com comprimento de onda de cerca de 520 nm [112].

A Tabela 1 apresenta as frequências do espectro visível e a cor relacionada percebida pelo ser humano. Observa-se que estas são as cores percebidas pela maioria das pessoas, mas a percepção pode variar de forma individualizada. Além disso, estas são apenas as frequências do espectro visível, existindo frequências além do espectro visível, como as ultravioletas e as infravermelhas. Na tabela λ representa a faixa de comprimentos de onda e F a frequência, a representação de cores é meramente ilustrativa, uma vez que vista na tela e no papel podem apresentar uma aparência diversa.

Tabela 1 - Frequência aproximada e faixas de comprimento de onda, no vácuo, para as diferentes cores (* 1 THz = 10^{12} Hz, 1 nanometer (nm) = 10^{-9} m).

Cor	λ (nm)	F (THz)*	Aparência
Vermelho	780 – 622	384-482	
Laranja	622 – 597	482-503	
Amarelo	597 – 577	503-520	
Verde	577 – 492	520-610	
Azul	492 – 455	610-659	
Violeta	455 - 390	659-769	

Fonte: Adaptado de [113].

A luz refletida traz outras informações além da cor. Se um material é iluminado com luz branca (que é todo o conjunto de frequências visíveis) e ele reflete apenas a luz violeta, isso significa que todas as outras frequências foram absorvidas. O conjunto de frequências que um objeto retém é chamado de espectro absorvido e, como todo material possui um espectro absorvido bem conhecido, isso se torna um identificador exclusivo do próprio material. Essa noção é importante o suficiente para ter ganhado um ramo específico da física que estuda a interação entre matéria e radiação eletromagnética chamado espectrometria, e o instrumento utilizado para medir essa interação é o espectrômetro.



Para a construção de um espectrômetro é necessário utilizar um dispositivo que possa direcionar a luz refletida para o fotodiodo, tais como um espelho ou prisma. O espelho é capaz de refletir a luz em uma direção específica, enquanto o prisma é capaz de separar os componentes de luz de acordo com suas frequências, resultando em uma imagem espectral. Uma vez que a luz refletida é capturada pelo fotodiodo, é preciso utilizar um amplificador para aumentar a corrente gerada, além de um sistema de processamento de dados para registrar os resultados. Esse processo pode ser realizado utilizando-se uma placa de aquisição de dados e um *software* especializado [112].

Além disso, é importante ter uma fonte de alimentação para fornecer energia aos componentes e um *display* para exibir os resultados da análise. Esses dispositivos juntos podem ser organizados juntos em uma caixa ou estrutura para proteger os componentes e garantir a integridade do experimento.

A busca por espectrômetros de mercado e de baixo custo é uma tendência que vem ganhando cada vez mais força nos últimos anos e esses dispositivos alternativos permitem a realização de medições precisas de espectros de luz em diversas aplicações, como na química, na engenharia, na medicina entre outras [114]–[116]. Observa-se que com a evolução da tecnologia, tornou-se possível fabricar espectrômetros de baixo custo que utilizam sensores digitais e processadores de sinal, tornando-os acessíveis para um público amplo. Além disso, o desenvolvimento de *software* específico para a realização dessas medições também ajudou na popularização desses dispositivos.³

A evolução dos espectrômetros econômicos tem contribuído significativamente para o avanço de pesquisas e monitoramentos em diversas áreas de atuação, proporcionando inúmeros benefícios, tais como aprimoramento da precisão em experimentos, aumento da eficiência em processos industriais, melhoria da qualidade de medicamentos e alimentos, além de permitir a avaliação da qualidade da luz e, por consequência, da qualidade de vida.

2.3.3 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que permite a conexão de objetos cotidianos à internet, possibilitando o monitoramento e o controle remoto deles. Essa tecnologia tem sido

³ Atualmente existem espectrômetros desde R\$100,00 a mais de R\$15000,00. Valores atualizados em 2023.



amplamente utilizada na criação de sistemas de monitoramento remoto, incluindo sistemas de monitoramento de luz e seres humanos [117].

A IoT possibilitou o desenvolvimento de diversos equipamentos de monitoramento que estão revolucionando a forma como as empresas e pessoas acompanham e controlam seus processos e atividades. Alguns exemplos de equipamentos que utilizam a tecnologia da IoT são os sensores de temperatura, umidade e luminosidade, que permitem monitorar ambientes e garantir a qualidade e segurança de produtos. Outros equipamentos incluem câmeras de vigilância e alarmes conectados, que oferecem mais segurança e proteção para residências, empresas e condomínios. Além disso, há ainda os dispositivos de monitoramento de saúde e bem-estar, como *smartwatches*, que permitem aos usuários acompanharem seus sinais vitais e atividades físicas em tempo real. Com a IoT, a possibilidade de monitorar remotamente diversos aspectos da vida cotidiana está cada vez mais acessível e simples.

O uso de dispositivos IoT, como sensores de luz e câmeras, permite a coleta de dados em tempo real sobre a intensidade de luz e o movimento humano em uma determinada área. Esses dados podem ser transmitidos em tempo real para um sistema central, onde são processados e analisados para identificar padrões e tendências [118].

A combinação desses dados com algoritmos de inteligência artificial pode permitir a automação de processos de monitoramento, como a regulação da intensidade de luz, de acordo com a presença humana na área. Além disso, o sistema pode ser programado para enviar alertas em caso de anormalidades, como variações bruscas na intensidade de luz ou presença de seres humanos fora de horários estabelecidos.

Esse tipo de sistema de monitoramento remoto pode ser utilizado em diversas aplicações, como em grandes centros urbanos ou em lugares isolados geograficamente. Além de aumentar a segurança, o sistema de monitoramento remoto baseado em IoT pode ser uma ferramenta importante para o gerenciamento eficiente de recursos ou também para qualidade de vida do usuário [119].

Assim, pode-se afirmar que a Internet das Coisas é uma ferramenta necessária e pode ser apropriada para o monitoramento remoto de luz e seres humanos. Com a combinação de dispositivos IoT, inteligência artificial e conexão à internet, é possível criar sistemas avançados



que possibilitam a regulação da intensidade de luz e a detecção de anormalidades, tornando os ambientes mais seguros e eficientes.

No caso desta pesquisa, foi possível aplicar este sistema de monitoramento na Antártica usufruindo dessa tecnologia. Contudo, muitos outros problemas decorrentes da fragilidade desse tipo de instalação ocorreram, como falhas na comunicação, falta de energia, abalos sísmicos, defeito dos equipamentos, entre outros, e podem ser visualizados com mais detalhes em publicação prévia desta etapa do projeto [120].

2.3.4 Definição dos Sinais de Ritmo

Desde a década de 80 do século passado, há uma busca por contribuições tecnológicas na área de monitoramento médico. Essa necessidade se originou inicialmente na área perinatal e na monitoração durante a gravidez, acompanhamento da pressão arterial, risco cardiovascular e outras questões fisiológicas. É importante destacar que esses quadros clínicos não são considerados doenças, mas sim parâmetros de prevenção, e investir nesses aspectos pode proporcionar qualidade de vida aos pacientes, além de reduzir a necessidade de tratamentos médicos para doenças que não foram diagnosticadas previamente [15].

Embora novos equipamentos e aparelhos surjam com frequência, o *hardware* por si só não é suficiente para as análises e estudos de cronobioengenharia. Os dados coletados devem ser entendidos junto com as necessidades médicas e aplicados em situações efetivas. Os *softwares* utilizados devem considerar as individualidades dos pacientes e apresentar uma leitura e resultados acessíveis, tanto à análise técnica quanto para leigos. Isso é importante, uma vez que a medicina preventiva pode ser uma ferramenta de uso de pessoas comuns, sem conhecimento médico ou tecnológico.

Equipamentos não invasivos formam uma linha científica de pesquisa que atrai a área médica, visando as ações de prevenção e aplicação durante o período de tratamento e pós-tratamento dos pacientes. No entanto, ingredientes adicionais são necessários nessa pesquisa e busca, como a percepção de que está se lidando com funções dinâmicas que apresentam elementos rítmicos previsíveis. Além disso, embora seja usual o tratamento estatístico dos dados de forma simplificada, apenas a obtenção de média e desvio padrão não são suficientes para explorar as informações da cronobioengenharia.



A Figura 16 mostra os índices estabelecidos, para lidar com a dinâmica da função do corpo [15].

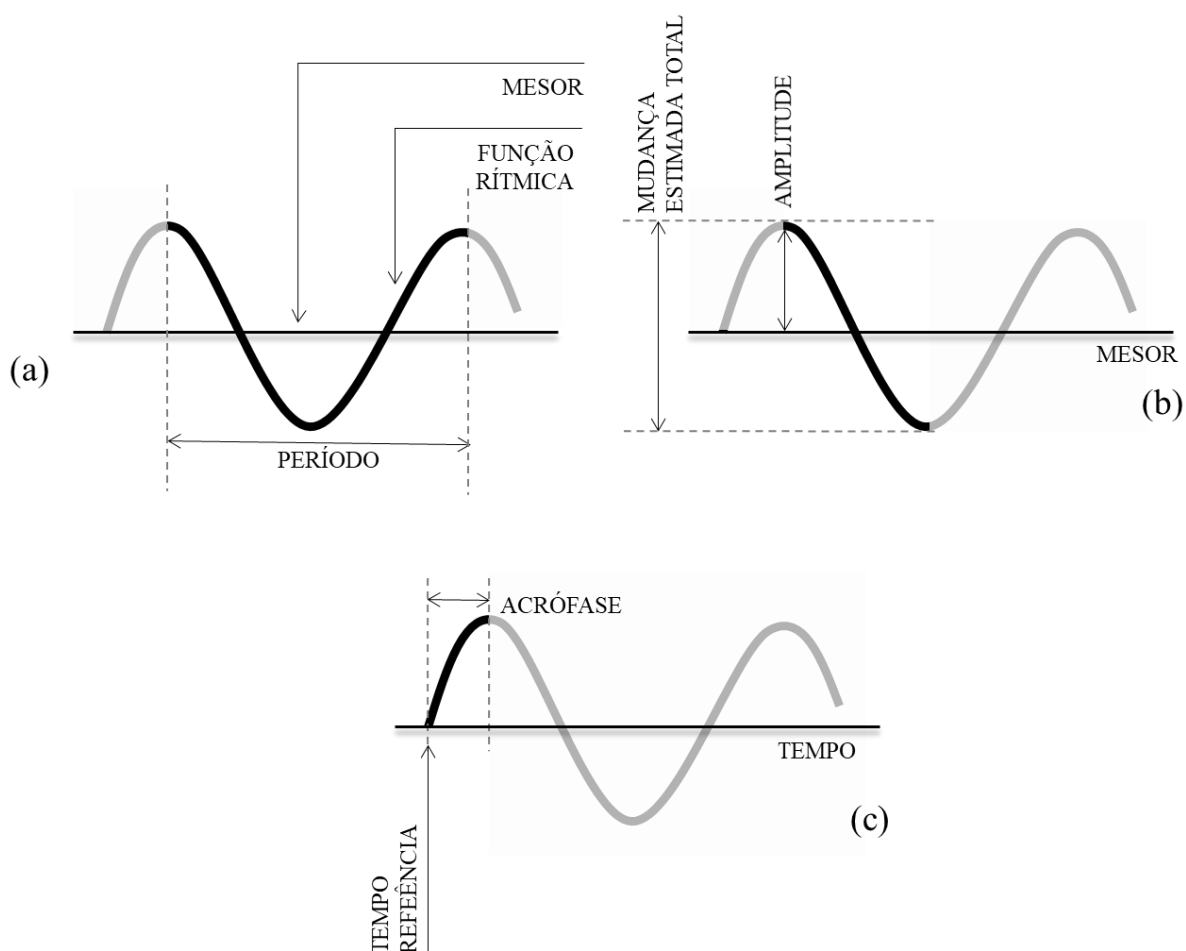


Figura 16 - Índices dinâmicos da função rítmica. Adaptado de [15].

Segundo Franz Helberg (1987), os gráficos na Figura 16 apresentam as funções rítmicas e estabelecem alguns elementos que ilustram como seria o funcionamento do ciclo fisiológico do ser vivo. A Figura 16 (a) aponta que a função rítmica pode ser representada por uma linha média, considerada a análise mediana do ritmo, chamada de “mesor”. Ainda o mesmo gráfico define que o “período” é a duração de um ciclo completo da função rítmica. Na Figura 16 (b), a “amplitude” e “mudança estimada total” (2 vezes a amplitude) apresentam um total de mudanças previsíveis na função rítmica. Na Figura 16 (c), o gráfico demonstra o atraso do tempo de referência da função rítmica, que pode ser expresso em unidades de tempo de minutos, horas, dias e até anos, ou também em unidades fisiológicas como batimento cardíaco, ritmo respiratório, sono ou ciclo menstrual.



A mesor é a média estática intermediária do ritmo e é definida como o valor médio da função rítmica (a curva cosseno) preenchida com dados, expressos nas mesmas unidades que os dados originais. É importante notar que a mesor será diferente da média aritmética se os dados forem desiguais (por exemplo, concentrados próximo à crista do ritmo) e cobrirem um número não inteiro de ciclos. No caso da análise circadiana, a mesor representa a linha média da curva cossenoidal e indica o nível médio de uma variável biológica medida durante o período circadiano. Arendt [65], em seu estudo sobre melatonina, utiliza a mesor como medida que indica o valor médio da secreção de melatonina em um determinado período de tempo, geralmente em um ciclo de 24 horas. Ela representa o nível basal de produção de melatonina, que é o valor de referência em um período de tempo, e pode ser usado para avaliar a amplitude de variação na produção dessa substância em diferentes condições.

O período é o tempo, após o qual, uma fase definida de uma oscilação se repete, representa a duração de um ciclo completo em função rítmica; expresso em unidades de tempo. Como mencionado na Figura 16(c), é o parâmetro que pode simular horas, dias ou anos. Essa representação em curva cosseno é igual a um ciclo de 360° , onde a acrófase é uma porção angular desse ciclo. Destaca-se que a acrófase é o atraso do tempo de referência da crista do ritmo, definido pela função rítmica alinhada aos dados, e geralmente expressa o tempo de referência, o qual pode ser o tempo habitual ou unidades fisiológicas em ciclos. É um elemento apropriado para sincronização do ritmo com um período correspondente [15].

A amplitude é a extensão de um movimento oscilatório, medido do valor médio – no caso a mesor –, ao ponto extremo do pico. Ela marca a metade da mudança previsível total no ritmo, é definida pela função rítmica alinhada aos dados se expressando em unidades originais ou "relativas". A amplitude é outra medida importante na análise de ritmos biológicos. Ela é definida como a diferença entre os valores máximos e mínimos de uma variável biológica ao longo do ciclo circadiano. A amplitude representa a variação máxima da variável biológica medida em um período circadiano e é um indicador da força ou intensidade do ritmo circadiano. Uma amplitude maior indica um sinal biológico mais intenso, enquanto uma amplitude menor indica um ritmo mais desacelerado. A amplitude também pode ser usada para monitorar mudanças no ritmo circadiano ao longo do tempo, como aquelas associadas a distúrbios do sono ou transtornos do humor [28].



Já o ângulo de fase é a diferença entre uma fase identificável em uma oscilação e o ponto de fase correspondente em outra oscilação, como a diferença expressa em horas entre o pico de um ciclo medido e o pico do próximo ciclo arrastado, ajustado nos novos parâmetros medidos [28].

Outro estudo de Josephine Arendt (1987), reporta que em conjunto: mesor, acrófase e período fornecem uma avaliação completa da produção de melatonina no organismo humano [121]. Esses parâmetros são importantes ferramentas para compreender e tratar distúrbios do sono, problemas de saúde relacionados à regulação do ritmo circadiano e outras condições que envolvem a produção de melatonina [65].

Assim, considerando que o método adotado pela autora, neste trabalho, é adequado aos objetivos desta pesquisa; os parâmetros rítmicos sugeridos também serão usados nos diagramas Cosinor para as análises e elaboração dos resultados desta tese.

2.3.5 Métricas para os Efeitos da Luz no Ciclo Circadiano

As medidas de luz relacionadas ao ciclo circadiano, também conhecidas como métricas para os efeitos não visuais da luz, fornecem uma perspectiva diferenciada sobre a influência da luz no organismo humano, que vai além da sua função primordial de iluminar ambientes e permitir a visão adequada para realização de tarefas. Essas métricas incluem a quantidade e intensidade da luz, horários específicos de exposição à luz, tipo de luz (luz natural ou artificial) e o impacto da luz na regulação do ciclo circadiano, incluindo a produção de melatonina e o ritmo sono-vigília.

Além disso, ajudam a compreender como a luz afeta o corpo humano e como pode ser usada de forma mais eficaz para maximizar os efeitos positivos e minimizar os efeitos negativos. Por exemplo, a exposição à luz azul de alta intensidade à noite pode afetar negativamente o sono, enquanto a exposição à luz natural durante o dia pode ajudar a regular o ciclo circadiano [62], [122].

Em 2018, Berman e Clear questionaram sobre a universalidade da métrica relativa à iluminância fotópica, justificando que é uma medida que, apesar de ser amplamente utilizada e divulgada, não apresenta uma quantificação padronizada, e sim apenas qualificada. Os autores afirmam que “os lúmens universais não estão relacionados à nenhuma função de sensibilidade



fundamental ou resposta visual, o que significa que não é uma quantidade fotométrica”. Por essas razões, os autores ainda sugerem que a utilização da métrica da iluminância fotópica deve ser examinada e uma nova abordagem deve ser considerada para avaliar a luminância total de uma mistura de comprimentos de onda. Eles propõem a utilização de uma função de resposta visual, baseada na sensibilidade dos receptores fotossensíveis da retina humana, como uma forma mais precisa de avaliar a luminância total [123].

A iluminância melanópica é uma medida da quantidade de luz que é percebida pelo sistema de regulação do relógio biológico humano, o hipotálamo. A iluminância melanópica leva em consideração a sensibilidade da retina humana aos menores comprimentos de onda, que é a região do espectro de luz que mais afeta o relógio biológico [69], [124].

A influência da luz na regulação do relógio biológico é importante para manter o equilíbrio do corpo, especialmente quando se trata de sono e alerta. A exposição à luz natural durante o dia ajuda a manter o relógio biológico sincronizado com o ciclo circadiano de 24 horas. Por outro lado, a exposição à luz artificial, especialmente à noite, pode interromper o ciclo circadiano e afetar a qualidade do sono.

A utilização da iluminância melanópica como uma métrica permite avaliar a influência da luz no relógio cronobiológico humano, fornecendo uma medida precisa da quantidade de luz que é realmente percebida pelo hipotálamo. Isso é útil para avaliar o impacto da exposição à luz artificial à noite, bem como para desenvolver estratégias para melhorar a qualidade do sono e a regulação do relógio biológico.

Os efeitos da luz no ciclo circadiano incluem:

- Intensidade da luz: a intensidade da luz é medida em lux e reflete a quantidade de luz que atinge a superfície de uma determinada área. É uma medida importante para avaliar a influência da luz no ciclo circadiano, pois a luz intensa é mais efetiva em suprimir a produção de melatonina e regular o ciclo circadiano [32].
- Comprimento de onda: o comprimento de onda da luz é uma medida da cor da luz e pode ter um efeito significativo no ciclo circadiano. A luz azul, por exemplo, é conhecida por ser mais efetiva na regulação do ciclo circadiano do que outras cores de luz [62], [122].



- Tempo de exposição: o tempo de exposição à luz é outra medida importante para avaliar os efeitos da luz no ciclo circadiano. A exposição prolongada à luz intensa durante o dia pode ajudar a regular o ciclo circadiano, enquanto a exposição prolongada à luz, à noite, pode interromper ou atrasar o ciclo circadiano [125].
- Fotoperíodo: o fotoperíodo é a duração da exposição à luz durante o dia. É importante para avaliar a influência da luz no ciclo circadiano, pois a variação do fotoperíodo pode interferir na produção de melatonina e, consequentemente, no ciclo circadiano [126].

Esses efeitos podem ser utilizados para avaliar a influência da luz no ciclo circadiano e ajudar a entender como a luz pode afetar a saúde e bem-estar humano.

Considerando que a presente pesquisa tem como objetivo a análise do espectro luminoso, será introduzida inicialmente a métrica da distribuição de potência espectral, a qual consiste em uma representação gráfica da quantidade de energia presente em cada frequência de um determinado sinal amostral. Essa métrica é utilizada para expressar a potência radiante de uma fonte de luz em relação a um comprimento ou faixa de onda na região visível do espectro. Além disso, corresponde à primeira medida obtida a partir da contagem dos sensores de captação espectral nas bandas de sensibilidade especificadas. Esses números medidos fornecem informações sobre as características da cor da luz e podem ser usados, por exemplo, para comparar a temperatura de cor de diferentes fontes luminosas. Outras métricas podem ser deduzidas a partir da distribuição de potência espectral, com uma pequena margem de erro, como iluminância ou CCT.

A iluminância ou intensidade luminosa é o indicador de intensidade de luz que incide sobre uma superfície. Esta medida é igual a um lux quando um fluxo luminoso de um lúmen ilumina uma superfície de um metro quadrado. Geralmente, os luxímetros são usados para medir a iluminância em superfícies horizontais e verticais [127].

No entanto, a iluminância não indica a impressão de luminosidade em um ambiente, porque isso depende, em grande parte, das características reflexivas da sala, indicadas pelas cores utilizadas e os tipos de superfícies e materiais. Como regra, a distribuição uniforme da luz não é alcançada com iluminação normal, razão pela qual as especificações nas normas geralmente fazem referência à iluminância média. Este valor é calculado como a média aritmética ponderada de todos os valores de iluminância da sala [128].



Para dissertar sobre as diferenças entre iluminância fotópica e iluminância melanópica é importante reiterar que o lux é a unidade de medida de iluminação, utilizada para quantificar a intensidade da luz em uma determinada área, relativo à sensibilidade do olho humano. Comparando a iluminância fotópica e a melanópica e seus valores medidos, a diferença é um pequeno deslocamento no pico de sensibilidade e proporção dos pesos de cada espectro medido e que diferencia o quantitativo final [41].

O lux fotópico é a unidade de medida de iluminação que considera apenas a percepção da luz pelo olho humano. É importante destacar que o olho humano não é sensível a todas as faixas do espectro eletromagnético, sendo assim, a percepção da luz depende da capacidade da retina em captar determinadas frequências. A unidade de medida fotópica é utilizada para avaliar a qualidade da iluminação em ambientes internos, e a observância dos níveis lumínicos para execução de atividades [40].

Já o lux melanópico, EML, é a unidade de medida de iluminação a qual considera a percepção da luz pelo sistema circadiano do corpo humano [76]. É usado para estimar o efeito da luz no sistema circadiano humano, levando em consideração a sensibilidade do fotopigmento melanopsina no olho, que desempenha um papel fundamental na regulação do ritmo circadiano. Essa métrica considera a quantidade de luz em diferentes comprimentos de onda, enquanto a iluminância visual apenas se concentra na luz visível ao olho humano. Portanto, é importante, na avaliação da qualidade da iluminação, em diferentes aplicações e, também, é utilizada na avaliação da exposição à luz artificial, incluindo a exposição à luz azul de dispositivos eletrônicos.

A métrica CCT, indica a cor da luz, observando que quanto mais branca é a luz, maior será sua temperatura de cor. Além disso, a distribuição de potência espectral pode ser usada para avaliar o desempenho da fonte luminosa em relação a determinados requisitos, como eficiência energética, luminosidade, *flicker* e interferência na atividade humana [129].

Conhecida também como métrica de “temperatura de cor”, a CCT é uma função que é usada para especificar quantitativamente a respectiva impressão de cor de uma fonte de luz. A unidade de medida da temperatura da cor é graus Kelvin [127]. Em termos concretos, é a temperatura cujo efeito de luz é mais semelhante à cor a ser descrita com intensidade uniforme, sob condições de observação especificadas. É uma métrica popular utilizada para determinar se o tipo de lâmpada é aparentemente “quente” ou “frio”, o que significa em termos de percepção,



se a tonalidade é mais azulada, quando a temperatura medida em graus Kelvin é mais alta, correspondente à luz da abóbada celeste ao meio-dia; ou avermelhada, quando a temperatura é mais baixa, mimetizando o céu e a luz do amanhecer ou entardecer. Essas informações são relevantes quando se trata de regular um sistema vivo, que tem como parâmetro padrão as nuances naturais da disponibilidade de luz, naturalmente obtidos ao longo de toda uma evolução da espécie, onde o corpo e suas funções se adaptam ao habitat.

As coordenadas de cor da CIE são um sistema de representação de cor baseado em três dimensões, x, y e z, que descreve as características da cor da luz visível e define a cromaticidade de uma cor através da combinação de três cores primárias: vermelho, verde e azul, conforme Figura 17. O sistema CIE considera a padronização de fontes luminosas e observadores, e avalia a sensibilidade do olho humano, como foi verificado em 1931 pelo CIE através das curvas fotópicas para o observador padrão. Essas curvas indicam a sensibilidade do olho humano para as faixas de comprimento de onda individuais [130] , [131].

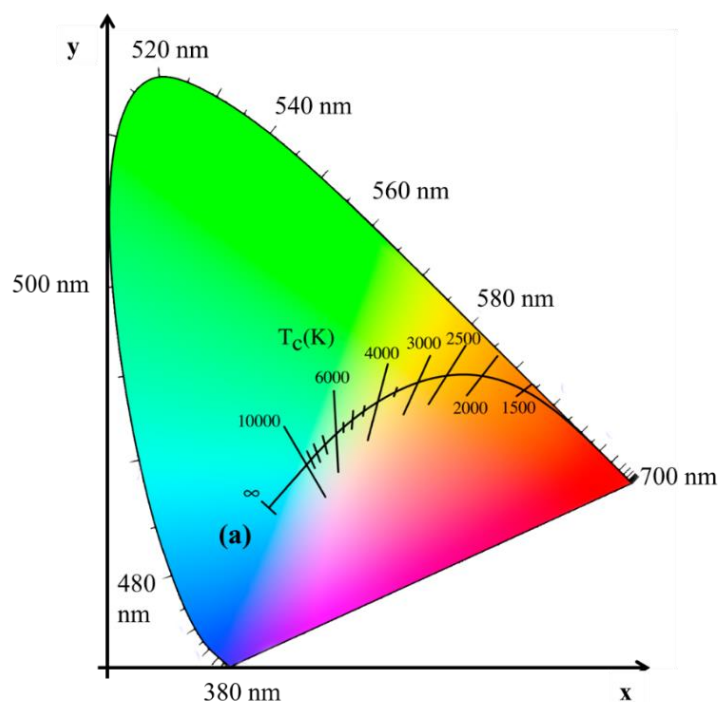


Figura 17 – Imagem com o diagrama cromático da CIE, com Lócus Planckiano (a) localizado no centro. Adaptado de: [132], [130]

O Lócus Planckiano é importante porque serve como uma referência para o sistema de cor. É uma curva que define as cores que um corpo negro incandescente pode produzir ao mudar de temperatura, e é uma representação da relação entre a temperatura e a cor da radiação emitida.



Possui essa nomenclatura pois é baseado na lei de radiação de corpo negro de Max Planck, que descreveu como a radiação eletromagnética emitida por um corpo negro varia com a temperatura [133]. De acordo com essa lei, quanto mais quente o corpo negro, mais radiação violeta ele emitirá.

Existem outras métricas e indicadores ainda na área dos efeitos não visuais, como o Estímulo Circadiano (CS), que indica o percentual de supressão da melatonina e é mais complexo por considerar a interação entre diferentes fotorreceptores [76]. Considerando o conforto visual ainda pode-se citar métricas relativas ao contraste, uniformidade, *flicker*, Índice de Distribuição de Iluminação Uniforme (UDI), ofuscamento, métricas de sustentabilidade energética, entre tantas outras [134]–[137]. Em resumo, existem muitas métricas, e é preciso identificar qual medida será a mais adequada para dar suporte às respostas que se buscam nas investigações, determinando sua efetividade e adaptação à diferentes aplicações.



Capítulo 3 - Materiais e Métodos

Neste capítulo são apresentadas as etapas de desenvolvimento divididas em duas áreas: o projeto do equipamento de monitoramento e sua aplicação através do processo de teste do protótipo e o método utilizado para o tratamento dos dados. O processo de desenvolvimento da pesquisa se apresenta de forma esquemática segundo a Figura 18.

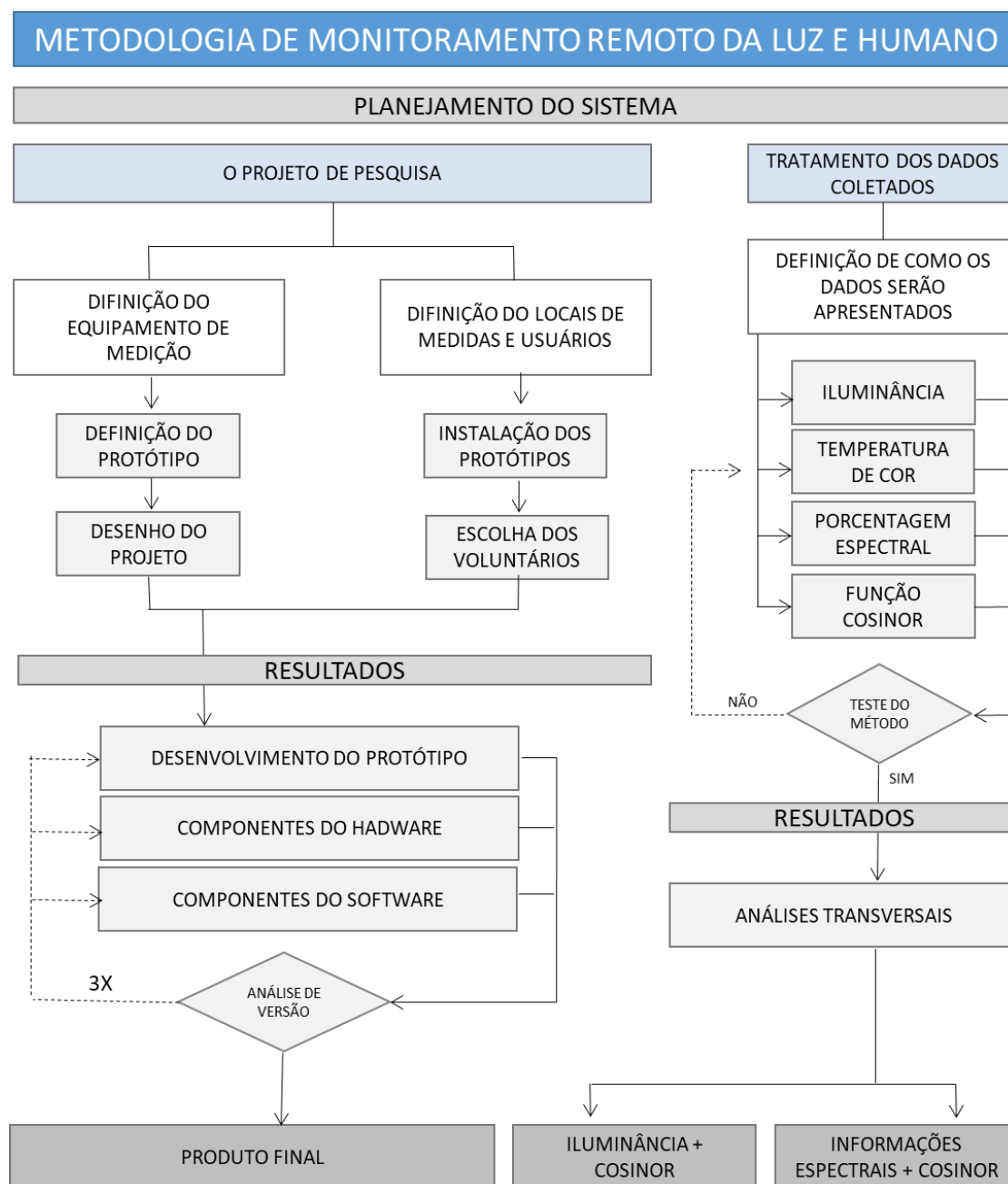


Figura 18 - Diagrama de organização das etapas de desenvolvimento da pesquisa.



No projeto de planejamento do equipamento de monitoramento, são abordadas as fases de concepção do equipamento, seleção de componentes, montagem e instalação. Já no processo de teste do protótipo, são discutidas as etapas de testes nos dois estudos de caso, além da avaliação dos resultados obtidos.

Por fim, no método de tratamento dos dados, são apresentadas as técnicas de análise de dados utilizadas, como a coleta de dados, o tratamento dos mesmos e a interpretação dos resultados, visando extrair informações relevantes para o monitoramento e controle do ser humano e da luz.

3.1 O Projeto de Pesquisa

Para iniciar o desenho deste projeto de pesquisa, primeiro foi identificada a necessidade de estudar a influência da luz no sistema cronobiológico humano. A partir disso, foram definidos os objetivos principais da pesquisa, que são desenvolver o instrumento de monitoramento para entender como a luz afeta o relógio biológico humano e como isso se relaciona com as preferências de atividades dos utilizadores em um ambiente arquitetônico.

Com base nos objetivos do projeto, foram definidos o escopo e a metodologia a serem utilizados. Optou-se por construir um protótipo de monitoramento que coletasse dados sobre o comportamento dos utilizadores e a luz no ambiente interno. Isso permitiria uma análise mais precisa da relação direta entre a morfologia da luz e as preferências de atividades humanas.

A partir da definição das características desejáveis do equipamento de monitoramento, foram estabelecidos os critérios de seleção dos usuários e do ambiente de teste, bem como as métricas a serem coletadas.

A seguir são apresentadas as fases da concepção e idealização da proposta de monitoramento divididas em etapas, ou seja: definição do protótipo, o desenho do projeto, a instalação dos equipamentos e a descrição e participação dos voluntários.



3.1.1 Definição do protótipo

O processo metodológico consistiu em conceber e desenvolver um equipamento que pudesse medir e monitorar o desempenho da luz natural e artificial em um ambiente construído, bem como capturar os dados que refletissem a rotina das atividades humanas. Para isso, foram agrupados dispositivos eletrônicos específicos de coleta dos dados ambientais em uma caixa que possibilitasse a comunicação com os dados coletados oriundos dos usuários.

Um protótipo foi criado e transportado até a EACF, composto por sensores que foram ajustados durante o desenvolvimento e testes do produto. Foi organizada a comunicação entre o equipamento e o sensor vestível humano, no caso, uma pulseira inteligente. O conceito inicial do equipamento baseou-se em um croqui esquemático (Figura 19), que previa a coleta de informações ambientais e humanas simultaneamente, por meio de sensores estrategicamente instalados. Os dados coletados foram tratados e analisados para obter informações sobre a qualidade do ambiente em termos lumínicos, bem como os hábitos dos usuários do espaço.

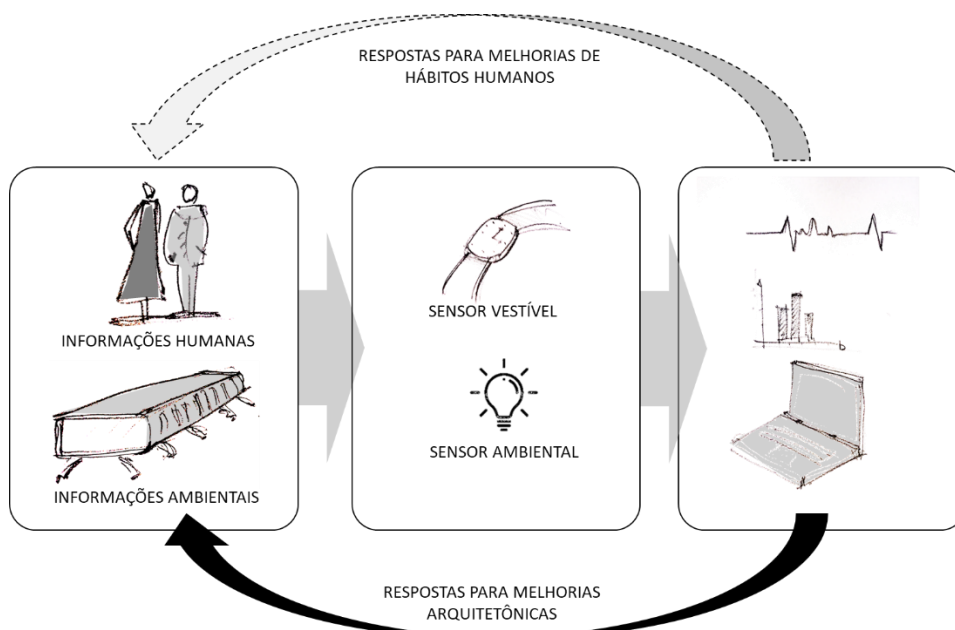


Figura 19 - Mapa esquemático inicial do equipamento.

Para atender as necessidades dos estudos de caso, o protótipo foi projetado para funcionar em ambientes inóspitos e urbanos, ser resistente e capaz de transmitir dados remotamente, sem a necessidade de processos *in loco*. Além disso, os fatores custo e complexidade de produção foram relevantes, considerando o objetivo de tornar o equipamento acessível às instituições de pesquisa.



Foi idealizado um pequeno compartimento que acopla os sensores, com uma placa central controladora, fazendo a comunicação IoT entre os sensores embarcados, os sensores vestíveis e a central de dados na universidade. Dessa forma, seria possível atender as necessidades inerentes à distância e isolamento do estudo de caso na Antártica, bem como outras situações menos inóspitas, como o estudo de caso urbano, na EAMES. O tamanho do compartimento foi projetado para ser facilmente transportado e instalado em diferentes locais, garantindo a coleta de dados precisos e confiáveis. Através da comunicação remota, os pesquisadores podiam acessar os dados coletados em tempo real, permitindo a tomada de decisões com base em informações atualizadas.

É importante destacar que o processo de desenvolvimento de um protótipo funciona de forma cíclica, e cada versão pode sempre ser melhorada ou atualizada, e o resultado final do produto pode ser reavaliado e retornar para a fase de planejamento sempre que necessário, conforme demonstra a Figura 20.

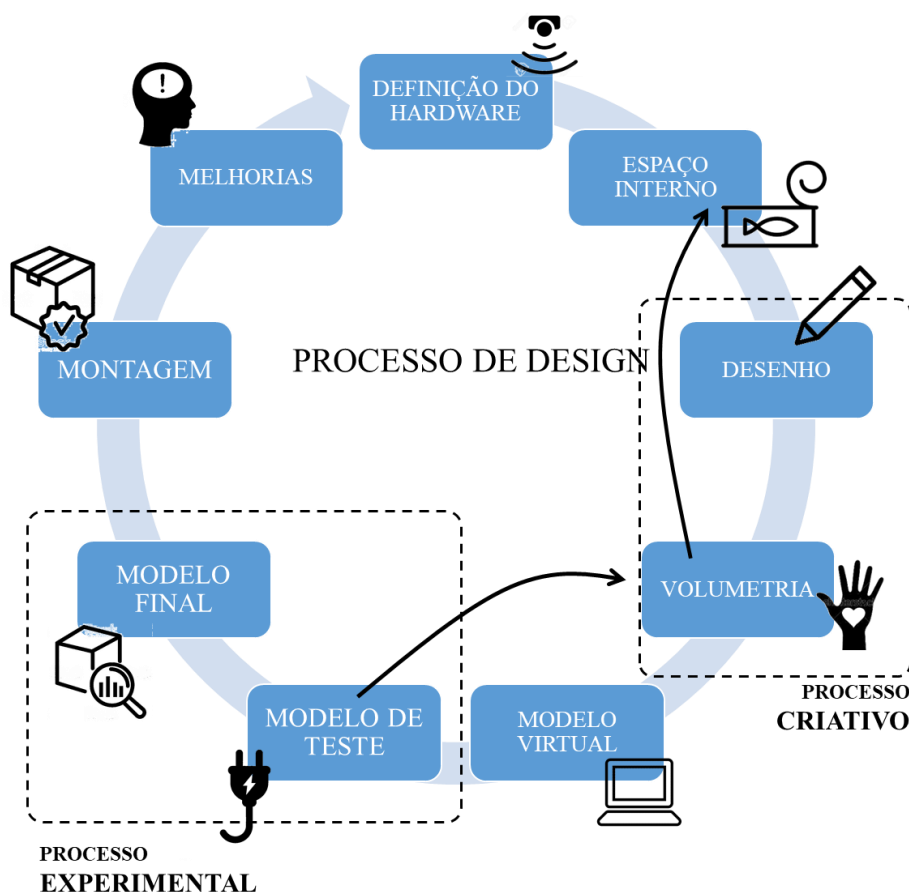


Figura 20 – Processo de design do equipamento apontando o esquema cíclico da criação. Fonte: adaptado de [138].



O equipamento de monitoramento foi desenvolvido através de um processo que culminou em quatro revisões de projeto, a partir das necessidades e ajustes feitos em cada versão. No total, foram quatro versões denominadas versão Beta 0.0, versão 1.0, versão 2.0 e versão 2.1. A Beta 0.0, foi a ideia lançada, ou seja, uma caixa para comportar os dispositivos de medições e após esse primeiro protótipo, foi feito um desenho aprimorado que resultou na versão 1.0, a qual foi testada na Antártica. Com os dados coletados no primeiro teste e identificação das fragilidades, foi possível um segundo aprimoramento no design e escolhas dos sensores, culminando na versão 2.0. Em um segundo momento de produção, necessário para atender o novo estudo de caso (EAMES), a versão 2.1 foi desenvolvida.

3.1.2 Desenho do Projeto

A Figura 21 apresenta um esboço esquemático do projeto completo e seu processo de desenvolvimento. Inicialmente, o protótipo foi desenvolvido para atender às necessidades da pesquisa e, posteriormente, foram instalados nos locais dos estudos de caso específicos escolhidos. Os dados ambientais e humanos foram coletados e organizados na forma de diagramas para a elaboração das conclusões do estudo e verificação da hipótese que orienta a pesquisa.

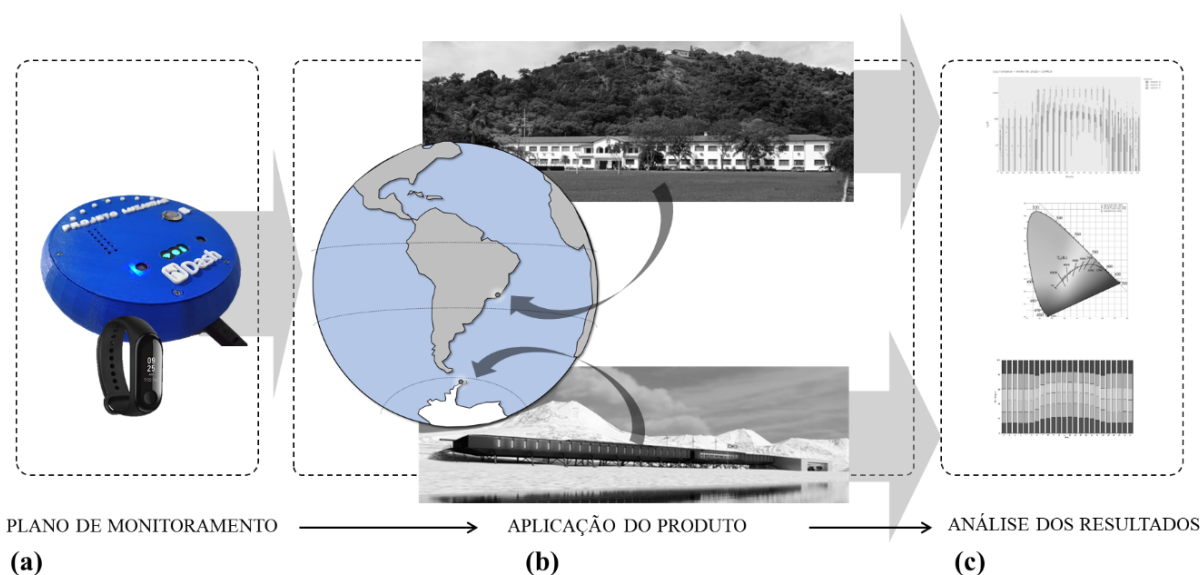


Figura 21 - Visão esquemática do projeto completo desde (a) a concepção do plano de monitoramento até a aplicação do produto desenvolvido com coleta e envio dos dados para a Universidade (b), para o tratamento e análise dos resultados (c).



Após o desenvolvimento do plano de monitoramento, o produto foi testado e ajustado às especificidades de cada estudo de caso. Na Antártica, mais especificamente na EACF, foram instalados os três equipamentos – na sala de jantar e estar da Estação, nos anos de 2020, 2021 e 2022 – e outros três na EAMES, na sala de refeições nos anos de 2021 e 2022. Denominou-se LUZANTAR para os procedimentos e informações relacionadas à Antártica e LUZEAMES para os relacionados à Escola de Aprendizes de Marinheiros do Espírito Santo.

Os dados coletados agruparam-se em dados ambientais, com informações espectrais e dados humanos, com as informações obtidas dos voluntários participantes da pesquisa.

A cronologia da pesquisa está representada em uma linha do tempo esquemática, que aponta as coletas de dados durante o estudo, as quais ocorreram entre os anos de 2019 a 2023, conforme Figura 22. A representação destaca o planejamento das fases do projeto, os locais e períodos específicos relacionados a cada momento da pesquisa no processo completo, com as datas de coleta de dados em cada estudo de caso e a cronologia do desenvolvimento do produto de monitoramento de forma concisa.

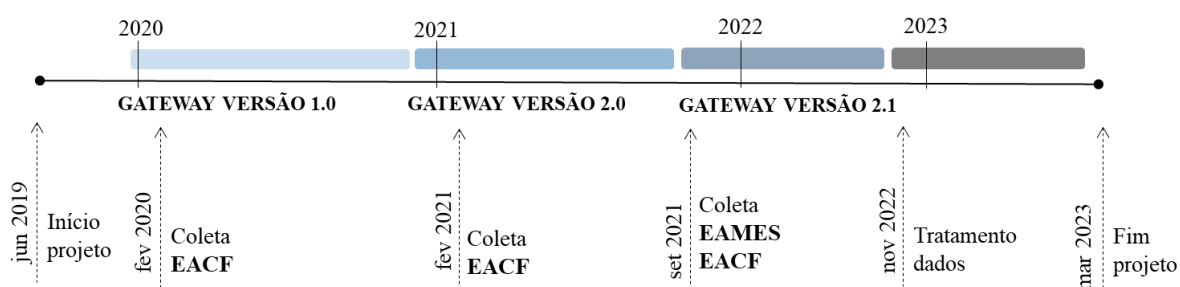


Figura 22 - Linha do tempo da pesquisa completa, com os anos de desenvolvimento destacados na barra horizontal e o início de cada fase nas setas verticais.

Na documentação do Capítulo 8, em Apêndices, seguem descritas em detalhes, as principais atividades da pesquisa, com registro do início de cada experimento, os impasses burocráticos, as datas de coleta, os relatos de problemas e justificativas do processo de construção, e a coleta efetiva de dados.

Nesta metodologia de estudo foi considerado o “Código de Ética”, que é a avaliação dos aspectos éticos do protocolo de pesquisa: um conjunto de regras e normas que definem o que é aceitável e inaceitável em pesquisas com seres humanos, e que visa evitar qualquer dano ou abuso aos participantes. Além disso, a autorização do “Código de Ética” também garante que a pesquisa seja conduzida de acordo com as normas éticas e científicas, assegurando a validade



e a confiabilidade dos resultados, além de proteger os direitos dos participantes da pesquisa. Por essas razões, toda pesquisa com seres humanos deve ser aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos antes de ser iniciada.

O trabalho foi autorizado através do parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Espírito Santo, através do CAAE: 23234019.5.0000.5542, número do parecer 3.703.913, em 13 de novembro de 2019, e revisado e autorizado novamente para inclusão do estudo de caso adicional, através do número de parecer 4.942.078, em 30 de agosto de 2021.

3.1.3 Instalação dos Protótipos

Foram coletados os dados dos subprojetos LUZANTAR e LUZEAMES ao longo da pesquisa realizada. Conforme mencionado anteriormente, nos ambientes previamente escolhidos, foram planejadas a instalação de três protótipos por ambiente nos dois locais de estudos de caso. Os equipamentos foram distribuídos perimetralmente no ambiente, sendo dois destinados exclusivamente à coleta da luz interna do ambiente, e um posicionado de forma que houvesse a influência majoritária da luz natural.

Para cada estudo de caso foi preparado um conjunto de três protótipos. Os equipamentos foram todos instalados no plano vertical, a uma altura média dos olhos humanos de um indivíduo adulto em pé, nas paredes perimetrais do ambiente de medição. Tal decisão foi tomada a partir das sugestões da Well Standard, uma padronização que mede a iluminância dos ambientes sob a ótica da influência da luz no ciclo circadiano [70], já descrita no Capítulo 2.

A Figura 23 ilustra os Gateways instalados no ambiente de estar da EACF, sendo dois posicionados nas paredes laterais da sala com ângulos de orientação perpendicular à janela; e um terceiro equipamento foi posicionado orientado para a parte externa da edificação, captando, na maioria das medições, prioritariamente luz natural. Este posicionamento triangular foi intencional e realizado para abranger diferentes pontos do ambiente, identificando assim a variação da iluminância.



Figura 23 – Imagens da EACF: (a) sala de estar e refeições; (b) equipamento instalado na parede; (c) equipamento instalado na janela; e (d) desenho esquemático do posicionamento dos três equipamentos na sala de coleta dos dados ambientais, com as setas orientadas para a direção dos sensores espectrais. Fotos: Gabriel Prucoli Benevenuto (2021).

A distribuição dos protótipos na sala da EACF foi inicialmente sugerida e ajustada para as reais possibilidades permitidas na Estação, onde existem paredes com limitações estéticas e funcionais para a fixação de qualquer objeto; e locais que não possuem a necessária fonte de alimentação de energia.

Os protótipos funcionaram concomitantemente, contudo, em algumas situações, não coletaram dados ininterruptos como o esperado, devido aos vários tipos de problemas. Esses problemas foram relacionados: à qualidade dos dispositivos utilizados; à queda de energia; ao



desligamento proposital humano; à falha de equipamento; à ocorrência de um pequeno abalo sísmico, entre outros, e descritos em publicação específica [120].

O posicionamento dos Gateways no subprojeto LUZEAMES foram pré-estabelecidos, mediante as decisões tomadas na escolha do ambiente no subprojeto LUZANTAR. Foi selecionado o espaço das refeições dos oficiais, visto que os voluntários permanecem ali durante as três refeições do dia e, desta forma, viabilizaria uma melhor eficiência na conexão com os módulos e o recolhimento dos dados colhidos pelas pulseiras individuais dos participantes. Esses detalhes de instalação dos Gateways na sala de refeição dos oficiais na Escola EAMES, podem ser visualizados na Figura 24.

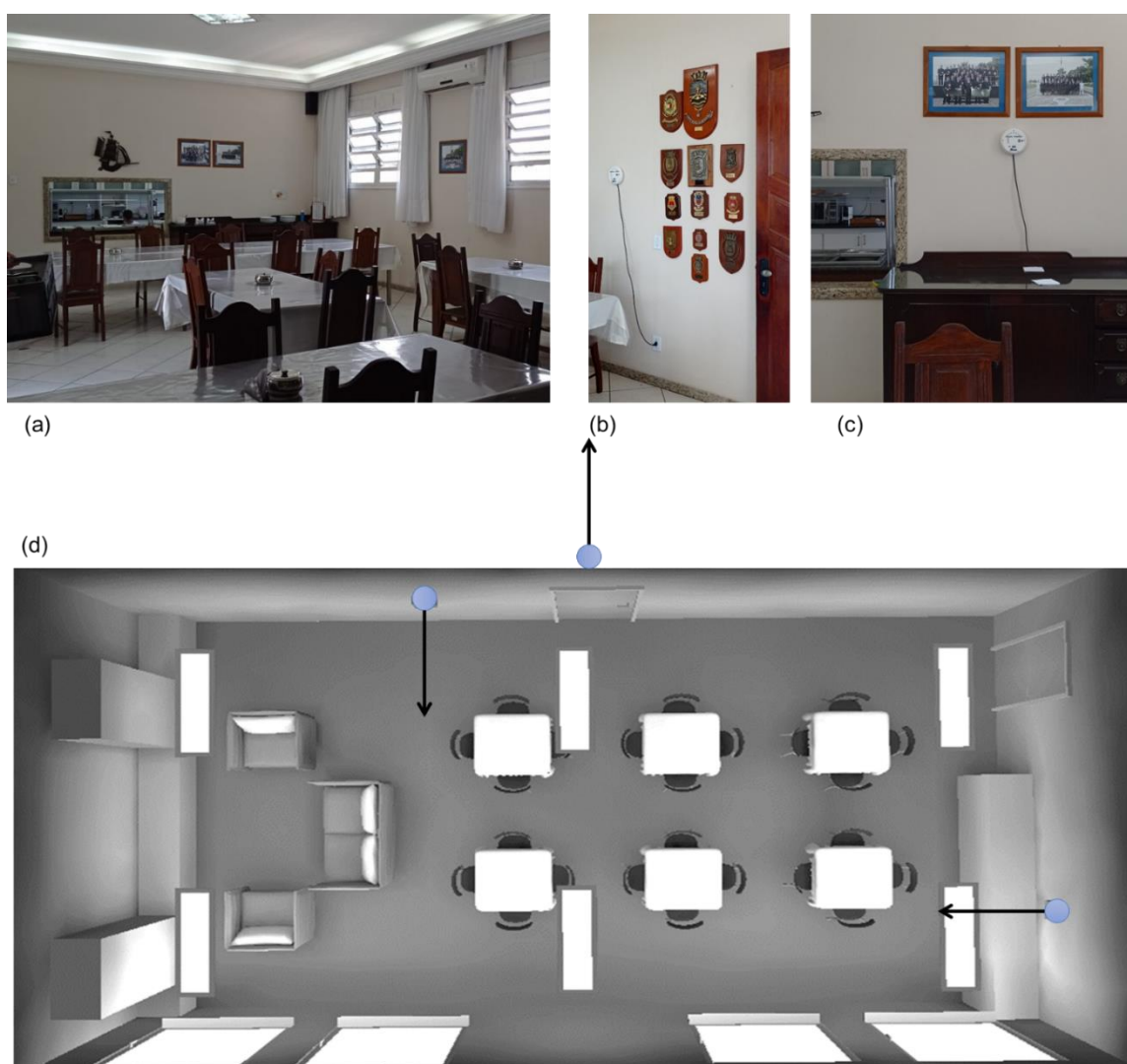


Figura 24 – Imagens internas do edifício da EAMES: (a) sala de refeições dos oficiais; (b) e (c) equipamentos instalados internamente; e (d) posicionamento dos equipamentos em planta com as setas indicativas do direcionamento dos sensores espectrais.



Na EAMES, devido às características arquitetônicas de paredes espessas, foi diagnosticado que o sinal 4G era instável, sendo necessário um ajuste na transmissão de dados, diferenciando assim, do que ocorreu na Antártica. A mesma dificuldade também foi identificada na comunicação entre o wi-fi e o bluetooth no ambiente de coleta. As janelas na EAMES são pequenas, tipo básculas, e não promovem a entrada de muita luz natural, ao contrário da EACF que possui uma grande parede de vidro no local de medição. Desta forma, o protótipo que mediu, na EAMES, majoritariamente a luz natural, teve que ser posicionado fora do ambiente interno, no corredor.

3.1.4 Voluntários

Segundo as informações oficiais do PROANTAR - Programa Antártico Brasileiro, a seleção dos militares que vão para a EACF passam por um processo criterioso e rigoroso, que inclui a aptidão física e psicológica, que busca garantir a segurança e o bom desempenho das atividades na região. O processo seletivo é composto por várias fases, que incluem avaliações físicas, psicológicas e técnicas. O objetivo é selecionar os militares mais preparados e capacitados para enfrentar as condições adversas da Antártica.

Um dos critérios de seleção para os militares que vão para a EACF é o condicionamento físico. Os candidatos devem passar por uma bateria de testes que avaliam sua resistência, força e capacidade de adaptação a situações extremas. Destaca-se que a Antártica se caracteriza por ser uma região desafiadora, com ocorrência frequente de temperaturas negativas, ventos fortes e baixa umidade do ar, o que exige um grande esforço físico dos militares que trabalham lá.

Outro critério importante é a experiência técnica dos candidatos. Os militares devem ter habilidades específicas para executar as atividades que serão realizadas na Estação. Por exemplo, é necessário que tenham conhecimentos em eletrônica, mecânica, hidráulica, entre outras áreas, para que possam realizar reparos e manutenções na estrutura da Estação e nos equipamentos utilizados. Além disso, é importante que os candidatos tenham experiência em atividades militares e em missões de campo, já que essas habilidades serão úteis na Antártica.

Além dos critérios físicos e técnicos, os militares também passam por avaliações psicológicas. Essas avaliações buscam identificar se o candidato tem o perfil psicológico adequado para trabalhar em um ambiente tão isolado como a Antártica.



Entre os critérios psicológicos avaliados estão a estabilidade emocional, a capacidade de lidar com situações de pressão e estresse, a capacidade de trabalhar em equipe e a habilidade de se adaptar a mudanças e imprevistos. Também são avaliados aspectos como a resiliência, a motivação e o comprometimento do candidato com a missão.

A avaliação psicológica é fundamental para garantir a segurança e a saúde mental dos selecionados que vão para a Antártica. Trabalhar em um ambiente com tantos extremos pode ser estressante e desafiador, e é importante que os candidatos selecionados estejam preparados para lidar com as adversidades, além de manter um bom equilíbrio emocional durante a missão. Por isso, a avaliação psicológica é um critério fundamental na seleção [139].

O grupo de militares destacado para a Antártica deve ser um exemplo de unidade coesa, que segue rigorosamente o processo seletivo descrito para a missão. Essa equipe é normalmente composta por indivíduos diversos em termos de gênero, idade, origem e habilidades, porém, as diferenças entre eles não são significativas em relação às variáveis avaliadas. Dessa forma, pode-se afirmar que esse grupo é estatisticamente homogêneo, ou seja, todos têm o perfil adequado para a missão na Antártica e, também, para esta pesquisa. Essa coesão do grupo militar é essencial para a seleção dos voluntários na execução do projeto de monitoramento humano na Antártica, uma vez que o número de habitantes voluntários é limitado, e que, mesmo dentre esses grupos, a participação não é obrigatória.

Já a EAMES é uma instituição de ensino da Marinha do Brasil que tem como objetivo formar jovens para a carreira naval. Segundo informações presentes em sua página oficial, os oficiais e professores da EAMES possuem um perfil específico [140]. Os oficiais da EAMES são descritos como sendo militares especializados e experientes em suas áreas de atuação, sendo responsáveis pela formação dos aprendizes-marinheiros. Eles são selecionados por meio de um também rigoroso processo seletivo que leva em consideração fatores como a formação acadêmica, experiência profissional e habilidades pessoais. Já os professores da EAMES são descritos como sendo profissionais qualificados e experientes em suas áreas de atuação, que utilizam metodologias de ensino modernas e eficazes para garantir uma formação de qualidade para os alunos. Eles também são selecionados por meio de um processo seletivo rigoroso, valorizando a formação acadêmica e a experiência profissional. De forma geral, tanto os oficiais quanto os professores da EAMES são descritos como sendo profissionais altamente



qualificados e experientes em suas áreas de atuação, que possuem um perfil técnico e ético muito elevado.

É possível inferir que, para exercerem as funções de formação e instrução de jovens aprendizes-marinheiros, é necessário que esses profissionais possuam um bom condicionamento físico e mental, além de capacidade para liderança e trabalho em equipe. Os oficiais da Marinha passam por treinamentos e capacitações constantes para se manterem atualizados e preparados para as diversas situações que podem ocorrer em um ambiente militar. Além disso, espera-se que tenham características como disciplina, responsabilidade, comprometimento e respeito à hierarquia, valores fundamentais na carreira naval. Os professores, por sua vez, devem ter habilidades pedagógicas, capacidade para adaptação às necessidades dos alunos, empatia e boa comunicação. Também é importante que tenham conhecimentos especializados em suas áreas de atuação, para garantir a qualidade do ensino oferecido aos alunos.

No caso do subprojeto LUZANTAR foram selecionados voluntários que iriam fazer um ano completo de residência na EACF. Já no subprojeto LUZEAMES foram selecionados voluntários oficiais e professores, os quais permanecessem no projeto pelo maior número de meses possível, preferencialmente que permanecessem em todas as estações de um ano, permitindo assim a avaliação das variações sazonais de disponibilidade de luz e de hábitos.

A Tabela 2 demonstra o número de pulseiras adquiridas para a pesquisa e o total de utilizadores que participaram efetivamente da coleta de dados, com dados medidos válidos. Esse número é flutuante, em alguns casos pôde ser utilizado bem menos dados dos que estavam disponíveis, pois os mesmos não estavam completos, ou a pulseira não foi utilizada por períodos considerados válidos.

Tabela 2 - Quantidade de equipamentos disponíveis e quantidade de utilizadores que participaram da pesquisa (com dados válidos medidos).

	EACF		EAMES
	primeira coleta	segunda coleta	coleta única
Número de pulseiras disponíveis	5	6	40
Número de participantes da pesquisa	4	6	27

A população envolvida em uma pesquisa deste tipo também influencia na rotina de recolhimento de dados e de manutenção dos equipamentos. Assim, ao contrário do pequeno grupo de participantes da EACF, os voluntários da EAMES eram em grande número e as



ocorrências de problemas de conexão, bateria e problemas aleatórios foram bem maiores e constantes.

3.2 Metodologia de Tratamento dos Dados Coletados

Além da coleta de dados, um aspecto importante desse projeto é o tratamento dos dados coletados pelo equipamento de monitoramento. A quantidade de dados gerados pode ser significativa, e é fundamental que sejam processados adequadamente para obter informações relevantes sobre a relação entre a luz e o sistema cronobiológico humano.

O tratamento dos dados inclui a limpeza, a transformação e a análise estatística dos dados. Primeiramente, é necessário realizar uma limpeza dos dados para remover informações irrelevantes e inconsistências. Em seguida, os dados são transformados em formatos mais acessíveis e significativos, como gráficos e tabelas. Por fim, é realizada a análise estatística dos dados para identificar padrões e relações entre as variáveis.

Nesta etapa de tratamento de dados serão demonstrados os processos de transformação dos *counts* medidos em informações de iluminância, através do método de interpolação das bandas medidas; temperatura de cor e porcentagem espectral. Com os resultados medidos dos dados humanos, será feita uma transformação dos mesmos para a Função Cosinor.

3.2.1 Iluminância

A Lei da aditividade de Abney afirma que a luminância total composta de uma mistura de comprimentos de onda é igual à soma da luminância de seus componentes monocromáticos, sendo uma ferramenta amplamente utilizada na avaliação da iluminância total [123].

Foi organizado um método de tratamento dos dados dos sensores espectrais AS7262, AS7263 e AS7341, considerando a bibliografia de referência e os dados coletados para visualizar os valores em medidas de iluminância. Como material de apoio, foram utilizados os conhecimentos oriundos do grupo de estudo como o de Lucas *et al.* (2014), e de pesquisadores que trabalham com a análise de iluminância melanópica [69], [124] e criou-se um método de interpolação das bandas espectrais medidas.



Os dispositivos AS7262 e AS7263 são sensores com obturador eletrônico e inteligente em 6 bandas espectrais, sendo cada um na área do visível e do infravermelho, do fabricante AMS, e foram utilizados na versão 2.0 do Gateway. As medições realizadas pelo sensor AS7263, na área do infravermelho, foram feitas, mas não foram utilizadas neste trabalho, devido ao foco em luz visível. Logo, serão descritas apenas as características do dispositivo AS7262.

O AS7262 é um sensor em chip multiespectral econômico e é uma solução projetada para atender aplicações de identificação espectral. Este dispositivo altamente integrado oferece detecção multiespectral de seis canais nos comprimentos de onda visíveis de aproximadamente 430 nm a 670 nm com largura total half-max (FWHM), em inglês, *Full Width at Half Maximum*, de 40 nm [141].

Na ficha técnica do equipamento consta que o AS7262 integra filtros gaussianos e que através da tecnologia de filtro de interferência nano-óptico fornece uma abertura integrada para controlar a luz que entra no conjunto de sensores. Além disso o espectrômetro tem os sensores de luz com filtros configurados individualmente para cada cor, com sensores de potência que medem fótons individuais.

Os benefícios e recursos do AS7262 são apresentados no datasheet do dispositivo. O sensor é uma solução compacta de espectrometria nos canais visíveis nas bandas 450 nm, 500 nm, 550 nm, 570 nm, 600 nm e 650 nm, cada um com largura de linha de 40 nm. Ele detecta os dados calibrados ao longo da vida do dispositivo com desvio mínimo ao longo do tempo ou temperatura. Possui ainda um conjunto de filtros visíveis realizado por filtros de interferência de silício (lente) e opera em baixa tensão 2,7V a 3,6V e na faixa de temperatura entre -40°C a 85°C.

A resposta espectral dos sensores AS7262 corresponde à Figura 25. Na imagem é possível visualizar as medições nas diferentes bandas e as áreas de sobreposição. Para quantificar a métrica lumínica adotada, representando a iluminância do ambiente, foi necessária uma investigação apurada de como transformar as seis medidas espectrais em iluminância.

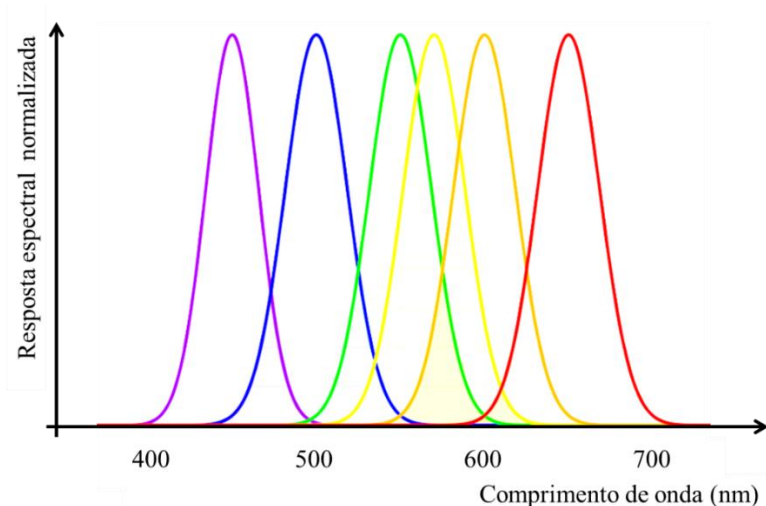


Figura 25 – Gráfico esquemático com a resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda do sensor AS 7262. Adaptado de [141].

Através da interpolação das diferentes medidas, foram aplicados diferentes pesos para cada comprimento de onda, seguindo a função de sensibilidade do olho humano. Após a retirada das áreas sobrepostas, obteve-se a métrica final com uma margem aceitável de erro de aproximação.

No processo de medidas, através do método de interpolação fotópico, foram feitas coletas de dados em *counts* nos comprimentos de onda sensíveis no sensor. Os sensores devolvem uma contagem discreta, contudo, não medem exatamente um retângulo e sim uma curva gaussiana. Após a coleta simples desses números, os resultados foram calibrados para coincidir o comprimento máximo medido com o centro da curva e aceitar uma potência advinda dos comprimentos vizinhos, que se atenua também de forma gaussiana. Ao final dos cálculos, os dois canais próximos podem compartilhar uma pequena quantidade de medidas um do outro, em função dessa sobreposição. Cada canal é uma faixa de banda, por exemplo, o que se entende por 450 nm, na realidade representa de 410 a 490 nm.

Com as medidas desses canais, foi realizado o cálculo de iluminância (lux), utilizando as informações espectrais da seguinte forma: primeiramente, transformou-se os *counts* em irradiância (W/m^2); depois, foram eliminados os valores referentes às áreas sobrepostas, para redução do erro. Após esse procedimento, foi feito o somatório da irradiância com os diferentes pesos, referentes a cada banda na curva de sensibilidade do olho humano, resultando no valor em lux.

O datasheet do AS7262 fornece a calibração dos seus sensores, dando uma medida de 45 *counts* por $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, sendo que, o sensor foi configurado com um ganho de 16x, e um tempo de



integração de 166ms. Como o ganho e o tempo de integração afetam linearmente o comportamento do sensor, pôde-se obter o valor de conversão de *counts* para irradiância para qualquer configuração de tal forma:

$$\frac{counts}{E_e} = 45 \cdot \frac{ganho}{16} \cdot \frac{t_i}{166ms} \left[\frac{counts}{\frac{\mu W}{cm^2}} \right] \quad (1)$$

Por exemplo, nos casos utilizados no Gateway, a configuração é de ganho 64x e um tempo de integração (t_i) de 280ms, temos então um valor de 303,61 *counts*/ ($\mu W/cm^2$) sendo o seu inverso 3,29E-03 ($\mu W/cm^2$) / *counts* = 3,29E-05 (W/m²) / *counts* que é o valor que, multiplicado com as medidas em *counts* dos dispositivos, fornecerá a medida de irradiância (E_e) em W/m².

Em função da largura de banda de cada sensor, as medidas dos sensores tem uma sobreposição. Por exemplo, o sensor de comprimento de onda central de 500 nm possui FWHM de 40 nm e, portanto, conta com as luzes entre 460 nm e 540 nm, sendo que o sensor de 450 nm também faz a medida até 490 nm, ou seja, de 460 nm a 490 nm há medidas apresentadas nos dois canais. Para a retirada desse efeito, foram aplicados pesos para cada um dos canais, conforme apresentado na Figura 26 (a) e (b), utilizando a área de sobreposição das curvas de responsividade de cada canal.

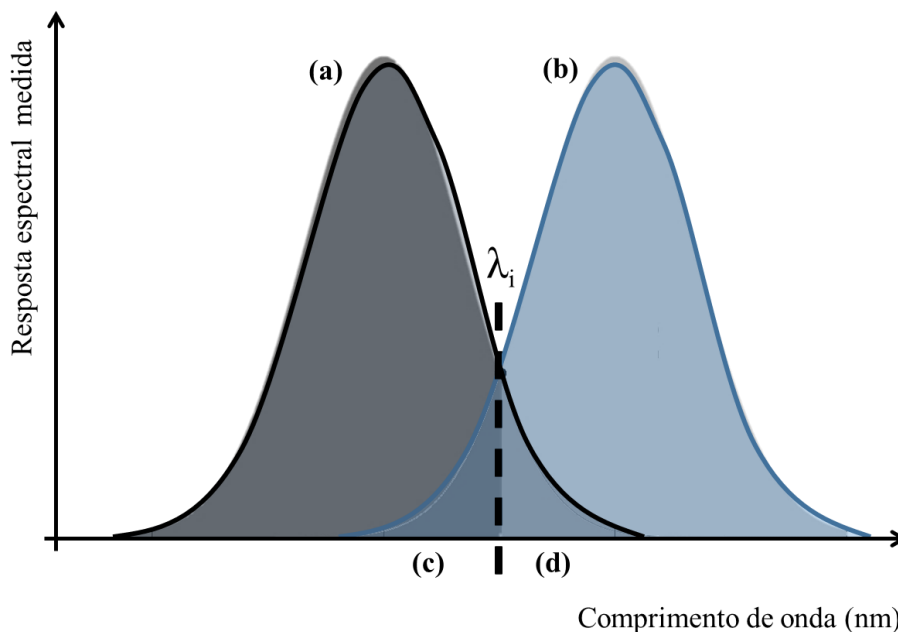


Figura 26 - Gráfico esquemático de como funciona o processo de sobreposição da banda (a) com a banda (b).



Observa-se na Figura 26, que dois canais vizinhos têm uma parte de sua função sobreposta – (c) e (d) – e, portanto, deve ser feito um cálculo para analisar a quantidade de medição que dois canais vizinhos possuem em contagem dupla. Então, para calcular a área de sobreposição, considera-se a área total extraíndo a parte sobreposta, conforme as equações (2), (3) e (4).

$$fator_1 = \frac{A_1}{A_{s1,total}} = \frac{\int_{380}^{\lambda_i} S(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} S(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

$$fator_2 = \frac{A_2}{A_{s2,total}} = \frac{\int_{\lambda_i}^{800} S(\lambda) d\lambda}{\int_{350}^{800} S(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

fator = peso por sobreposição individual

A = área da função

S = função de medição do canal

λ_i = ponto de intersecção

Em geral tem-se para qualquer canal s:

$$fator_s = \frac{A_s}{A_{s,total}} = \frac{\int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} S(\lambda) d\lambda}{\int_{350}^{800} S(\lambda) d\lambda} \quad (4)$$

Cada canal tem uma fração em que se conta duplamente as áreas sobrepostas, logo, é necessário identificá-las e aplicar os pesos correspondentes. Os valores dos pesos utilizados no cálculo da sobreposição, extraídos do processo nas equações (2), (3) e (4), de cada comprimento de onda medido, são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Tabela com o peso das sobreposições de cada comprimento de onda medido, utilizado para o cálculo da iluminância.

AS7262						
Canal	450 nm	500 nm	550 nm	570 nm	600 nm	650 nm
Peso por Sobreposição	92,94%	86,38%	67,10%	58,57%	75,41%	92,94%

Após esse procedimento, é preciso executar a transformação dos valores de irradiância para iluminância, utilizando a curva de eficiência luminosa, e nesta pesquisa foram testadas as eficiências fotópica e melanópica, sendo que as mesmas foram calculadas para cada banda do sensor.



Na Equação (5), V_s é a eficiência luminosa discretizada para a banda do sensor s dada a curva de eficiência normalizada $V(\lambda)$, e K , o valor de pico da curva específica padronizado em 683,002 para luminância fotópica, e 832,411 para a melanópica [63]:

$$V_s = K \cdot \int_{\lambda_{c,s}-FWHM}^{\lambda_{c,s}+FWHM} V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

Os valores discretizados obtidos através da Equação (5) para cada um dos canais do sensor são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Valores de eficiência luminosa fotópica e melanópica nos seus respectivos canais.

AS7262						
Canal	450 nm	500 nm	550 nm	570 nm	600 nm	650 nm
$V_{\text{fotópica}}$	38,6008	260,7709	636,1090	614,4586	426,9647	92,9860
$V_{\text{melanópica}}$	459,7486	728,4804	219,8575	81,2214	10,7101	0,1752

Portanto, com as medições em *counts* adquiridas pelo sensor, foi possível obter o valor de irradiância, corrigindo-o com os pesos de sobreposição e, por último, aplicando os pesos de eficiência luminosa, para obter a iluminância em lux.

O mesmo foi feito para o sensor da versão 2.1 do Gateway. O sensor AS7341 tem onze canais de medidas espectrais, do fabricante Adafruit Industries e foi utilizado na versão 2.1 do Gateway. A substituição da dupla de sensores AS7262+AS7263 pelo AS7341 ocorreu devido à disponibilidade do mercado, uma vez que o novo sensor veio substituir o anterior com maior eficiência. Além disso, o sensor apresenta um número maior de bandas espectrais medidas o que torna a montagem da caixa mais simples, substituindo dois sensores por um e com um desempenho melhor.

O sensor AS7341 é um espectrômetro que permite novas aplicações, incluindo identificação espectral, reflexão e absorção para correspondência de cores, fluido ou análise de reagentes, medição passiva de luz ambiente e calibração de cores. Segundo a ficha técnica do fabricante, a resposta espectral do sensor é definida por canais individuais cobrindo aproximadamente 350 nm a 1000 nm com oito canais centrados no espectro visível (VIS), mais um canal no infravermelho próximo (NIR) e um canal claro (Figura 27), na região de 350 nm a 1050 nm. O canal NIR em combinação com os outros canais VIS pode fornecer informações sobre a luz



ambiente circundante e outras condições, incluindo detecção de fonte de luz. O sensor possui uma abertura embutida, a qual controla a luz que entra no conjunto de sensores para aumentar a precisão. O dispositivo está disponível em um pacote de perfil ultrabaixo com dimensões de 3,1 mm x 2 mm x 1 mm [142].

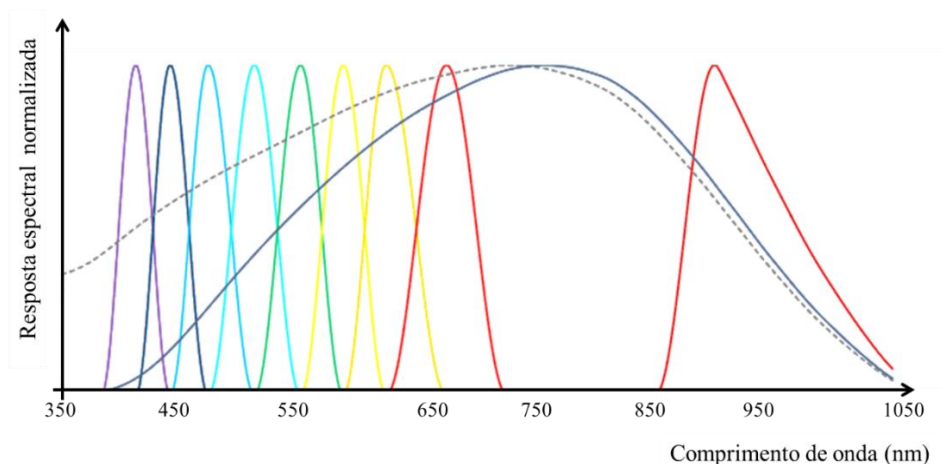


Figura 27 – Respostas espectrais normalizadas do sensor AS7341. Adaptado de [142].

Para realizar a análise das medidas do sensor AS7341 foi traçado o mesmo percurso do sensor AS7262, utilizando os valores de calibração dados no datasheet. Foi possível obter o valor de *counts* por irradiância de maneira similar ao AS7262, e, portanto, foi obtido um valor de 41,08 *counts* por $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para a calibração do datasheet feito em um ganho de 64x e um tempo de integração de 27,8ms. Já para os casos de teste, o ganho no dispositivo foi de 256x e tempo de integração de 50,04ms, tendo então uma conversão de $3,33\text{E-}03 \text{ (W/m}^2) / \text{counts}$. A Tabela 5 apresenta os pesos de sobreposição do AS7341.

Tabela 5 - Pesos de sobreposição por canais do sensor AS7341.

AS7341								
Canal	410 nm	440 nm	470 nm	510 nm	550 nm	583 nm	620 nm	670 nm
Peso por Sobreposição	89,74%	80,16%	77,41%	76,35%	75,13%	73,15%	74,83%	87,12%



E, por último, a Tabela 6 apresenta a eficiência luminosa fotópica e melanópica, dividida por canais:

Tabela 6 - Valores de eficiência luminosa fotópica e melanópica nos seus respectivos canais (lm/W).

AS7341								
Canal	410 nm	440 nm	470 nm	510 nm	550 nm	583 nm	620 nm	670 nm
$V_{\text{fotópico}}$	9,7687	30,3449	116,3517	406,4189	643,1695	502,3401	208,0829	25,7082
$V_{\text{melanópico}}$	95,5119	399,1884	742,5333	613,9450	174,6609	22,3849	1,6237	0,0245

3.2.1.1 Teste do Método da Iluminância

Uma informação geral e válida para a composição dos diagramas de iluminância é que os dados de cada Gateway foram definidos em três cores: azul claro, azul escuro e laranja. Em tons de azul estão registrados os dados dos Gateways (denominados nodes A e B) os quais representam as medidas do ambiente interno; em laranja, estão os dados do Gateway (node C), que por sua vez, inclui a luz direta natural. Nestes diagramas é possível identificar o comportamento da luz no ambiente interno medido na EACF e na EAMES, com valores em lux representados no eixo vertical, e as horas do dia, representados no eixo horizontal. Os dados estão distribuídos individualmente, em *boxplot*, onde é possível visualizar a média, os quartis, e os pontos extremos medidos. Além disso, os diagramas apresentam os valores medidos em escala logarítmica, para melhor visualização dos valores mais baixos, entre 0 e 100 lux, que representam boa parte das medidas do ambiente interno medido na EACF [143], e para isso, acrescentou-se uma linha de demarcação dos 100lux, tanto nos diagramas fotópicos quanto melanópicos.

Os primeiros gráficos de iluminância apresentados são baseados na iluminância fotópica, presente nas normativas nacionais e internacionais. Os dados encontram-se agrupados em estações climáticas e, da mesma maneira, estão agrupados os gráficos com a iluminância melanópica.

A Figura 28 apresenta quatro diagramas de iluminância fotópica, medidos na EACF. Nota-se que os dados dos Gateways internos (em azul) seguem um padrão de iluminância média, com poucas diferenças nos quartis extremos, pois as medidas se deram em pontos opostos da sala. É possível observar, no período de 20h às 5h, que existe rara luz ambiente, provavelmente



remanescente de alguma iluminância da área de circulação ou aparelho eletrônico que emite algum tipo de luz. Descarta-se a influência da luz natural nesse período, pois nas estações do ano que a mesma não ocorre nesse intervalo de tempo, as medidas internas continuam praticamente constantes entre 1 e 10lux.

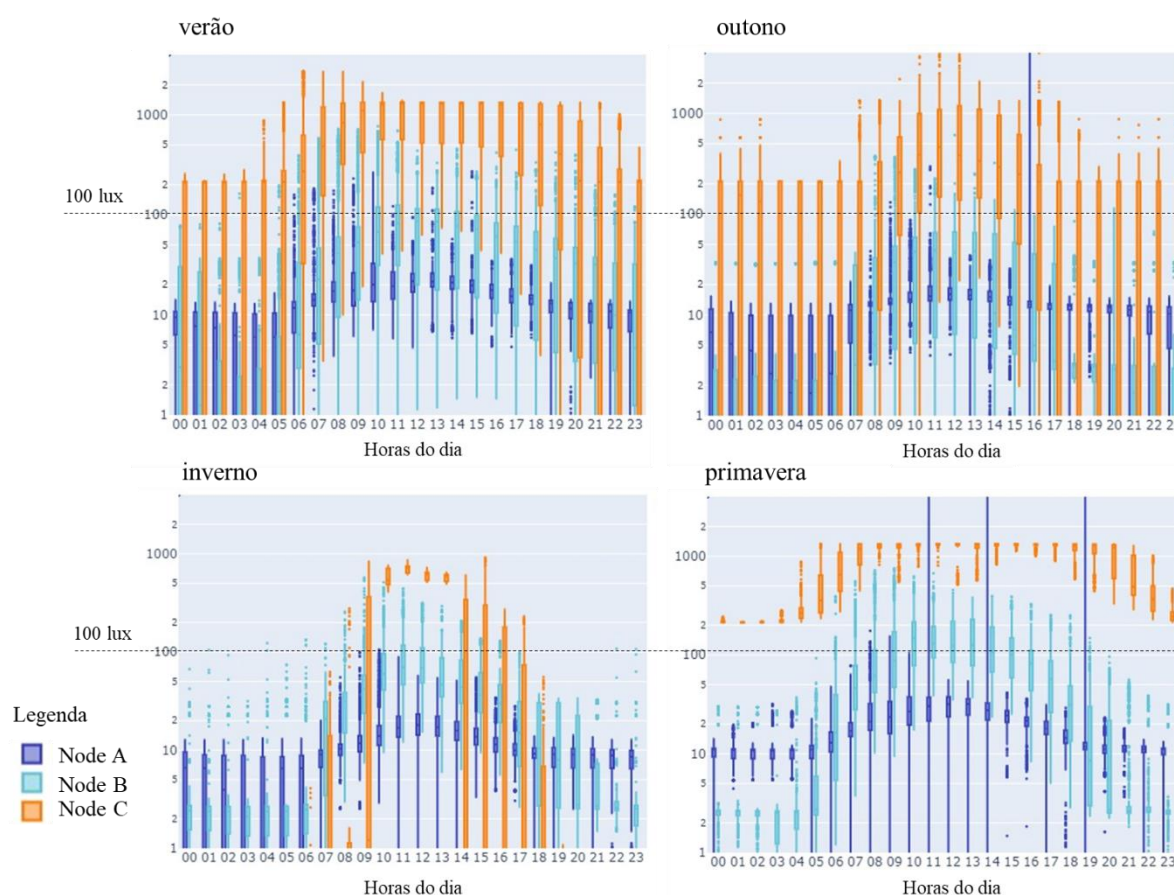


Figura 28 – Diagramas com iluminância fotópica anual da EACF com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux fotópico.

Ainda sobre os dados internos medidos, em azul, é possível observar a influência que a iluminação natural difusa da grande janela existente no ambiente interno da EACF exerce sobre as medidas finais internas. Por ser uma janela voltada para o Leste, os picos de iluminância prevalecem no horário matutino entre 7h e 10h, onde é possível observar momentos de influência da luz direta, principalmente no verão, com níveis lumínicos próximos de 1000lux medidos no plano vertical.

Nos dados representados em laranja, que medem a iluminância externa direta da luz natural, é possível acompanhar a mudança evidente das estações climáticas e, conseqüentemente, a



disponibilidade da luz. As diferenças entre verão e inverno são contrastantes e evidenciam que existe luz continuamente iluminando a EACF no verão, provavelmente advinda de algum tipo de iluminação artificial, como uma luz de fachada, impactando as medidas, nos diagramas de verão e outono. Nota-se, também, que no período de inverno, essa luz artificial foi provavelmente desligada no período noturno e acesa às 7h e no período entre 14h e 18h, onde possivelmente existiam atividades diurnas. No entanto, sabe-se que neste período e nessa latitude, somente há incidência de luz natural entre 10h e 14h.

A Figura 29 demonstra os mesmos dados medidos, só que com os valores representados em iluminância melanópica. No panorama geral desses diagramas, é perceptível que o comportamento da luz não é alterado de forma significativa, apesar de nos cálculos de iluminância serem atribuídos pesos diferenciados aos diferentes comprimentos de onda, nota-se um aumento nos quantitativos em alguns horários do dia, que ficam mais evidentes na Figura 30.

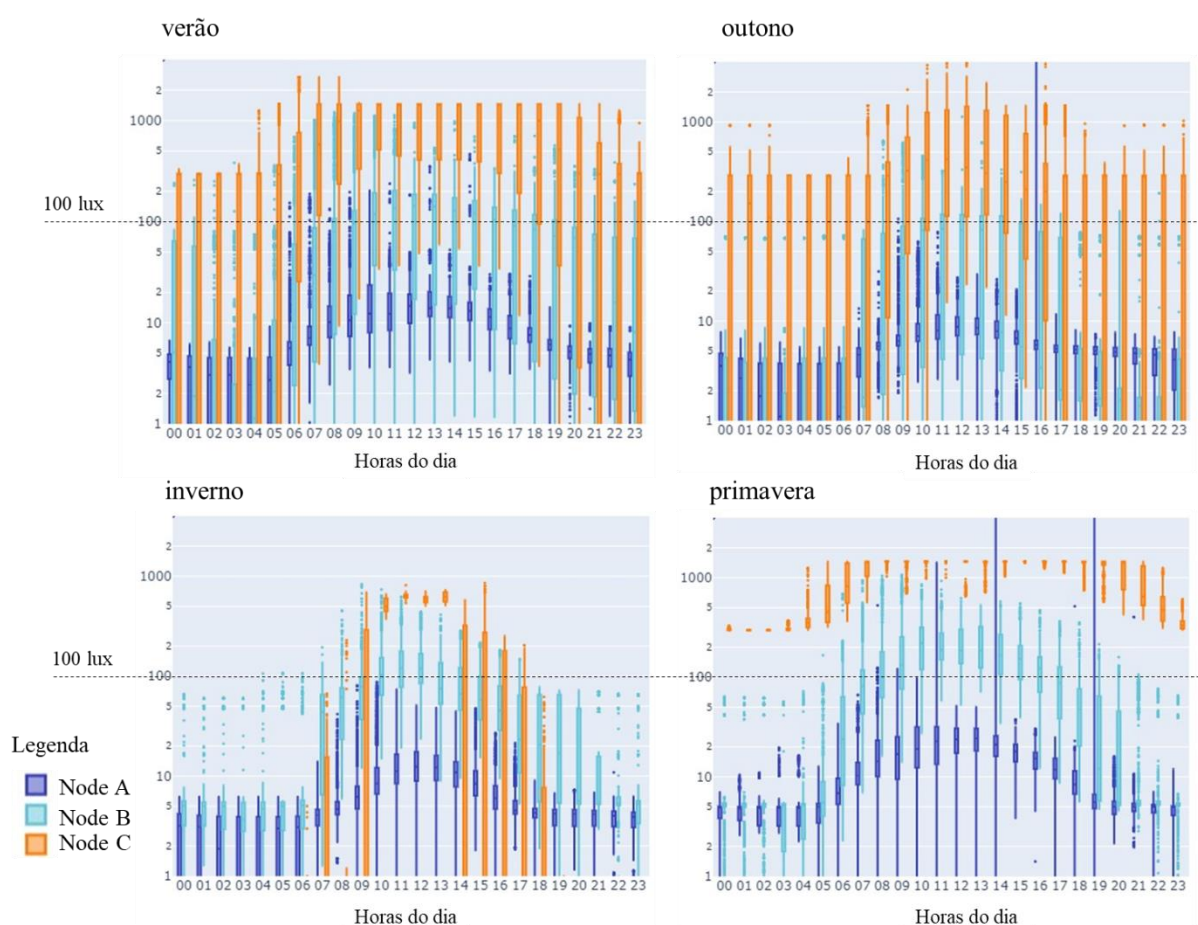


Figura 29 - Diagramas com iluminância melanópica anual da EACF com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida.



Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux melanópico.

Observa-se nas Figuras 27 e 28, que os valores registrados na primavera, tanto melanópica quanto fotópica, são superiores aos 200 lux. Esse fato provavelmente é um erro, e se explica por serem dados brutos coletados em *counts* que, saturaram as medições nesses limites. Contudo, ainda é possível visualizar o comportamento da luz desse período, observando valores de medidas diurnas num extenso período do dia e valores mais baixos à noite.

Para entender melhor, efetivamente, a diferença entre medidas nas distintas sensibilidades do olho humano, foi realizado o comparativo entre os dados analisados em iluminância fotópica e melanópica, e para isso, foi importante resgatar as referências normativas vigentes para entendimento da abordagem aqui discutida. Obviamente, as referências fotópicas, presentes na normativa brasileira ABNT-ISO 2013 são provenientes de medidas no plano horizontal ou superfície de trabalho, contudo, questiona-se quanto à necessidade de abordar nas análises lumínicas outros elementos, além do fator tempo, os quais exercem influência sobre o desempenho de atividades conforme já discutido anteriormente. A Tabela 7 apresenta os parâmetros comparativos entre a WELL standard e a ABNT em sugestões de métricas lumínicas para quatro atividades.

Tabela 7 - Métricas comparativas entre a WELL STANDARD e a ABNT.

Tipologia de ambiente	Níveis lumínicos WELL STANDARD 2020	Níveis lumínicos ABNT - ISO 2013
Espaços de trabalho	150 EML + luz natural de 9 as 13h	300 - 500 lux
Espaços de Lazer no trabalho	250 EML	100 -300 lux
Espaços habitacionais	200 EML de dia e 50 EML à noite	50 a 200 lux (nível piso)
Espaços de aprendizado	125 EML x 4 horas no dia	300 - 500 lux

Fonte: Adaptado de [70], [40].

Os gráficos apresentados na Figura 30 apresentam duas versões das medidas coletadas na EACF durante o período de outono, para uma análise transversal. Na Figura 30(a), estão os valores em lux fotópico e, no da direita estão os valores de lux melanópico. Duas linhas horizontais cruzam os diagramas delimitando os valores entre 10 e 100lux, para facilitar a comparação. Percebe-se que os dados são muito semelhantes alterando a intensidade consideravelmente e alguns *outliers* diferentes, e que podem ser visualizados nessa escala de detalhamento.

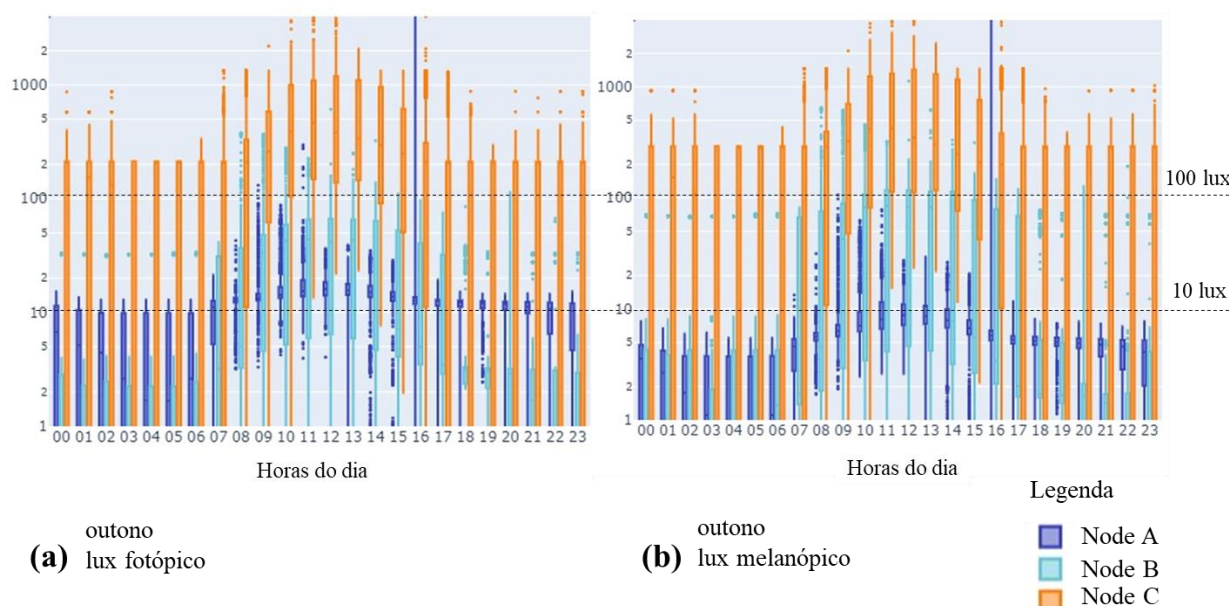


Figura 30 – Diagramas dos dados medidos na EACF comparativo entre lux fotópico (a) e lux melanópico (b) do período de outono. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidenciando o marcador de 10 e 100 lux.

Observa-se, por exemplo, que para espaços de trabalho, conforme Tabela 7, a referência é de 150 lux EML (melanópico) e acesso à luz natural, por pelo menos 4 horas, entre 9h e 13h. Os valores medidos pelos protótipos, em tons azuis, contribuem para atender a essa demanda uma vez que apresentam a iluminância do ambiente medida em horas do dia e incluindo a contribuição da luz natural. Considerando a média e os quartis superiores, o resultado medido em lux melanópico aproxima-se dos requisitos lumínicos especificados na WELL, enquanto os valores fotópicos estão bem distantes dos exigidos pela normativa ABNT. No diagrama melanópico tem-se os valores acima de 100lux das 8h às 16h, em média. Contudo, no diagrama fotópico apenas alguns *outliers* ultrapassam essa faixa das 8h às 14h (Figura 30).

O mesmo tipo de representação foi realizado com os dados referentes ao estudo de caso na EAMES e está ilustrado na Figura 31, com a iluminância dividida nas estações climáticas. Diferentemente da Antártica, a iluminância agora tem uma constância anual; o horário de nascer do Sol gira entorno de 5h e 6h, durante todo o ano e o pôr do Sol varia entre 18h e 19h. Outros valores registrados em laranja, nos diagramas de iluminância, são referentes à luz artificial do corredor e do pátio central do local.

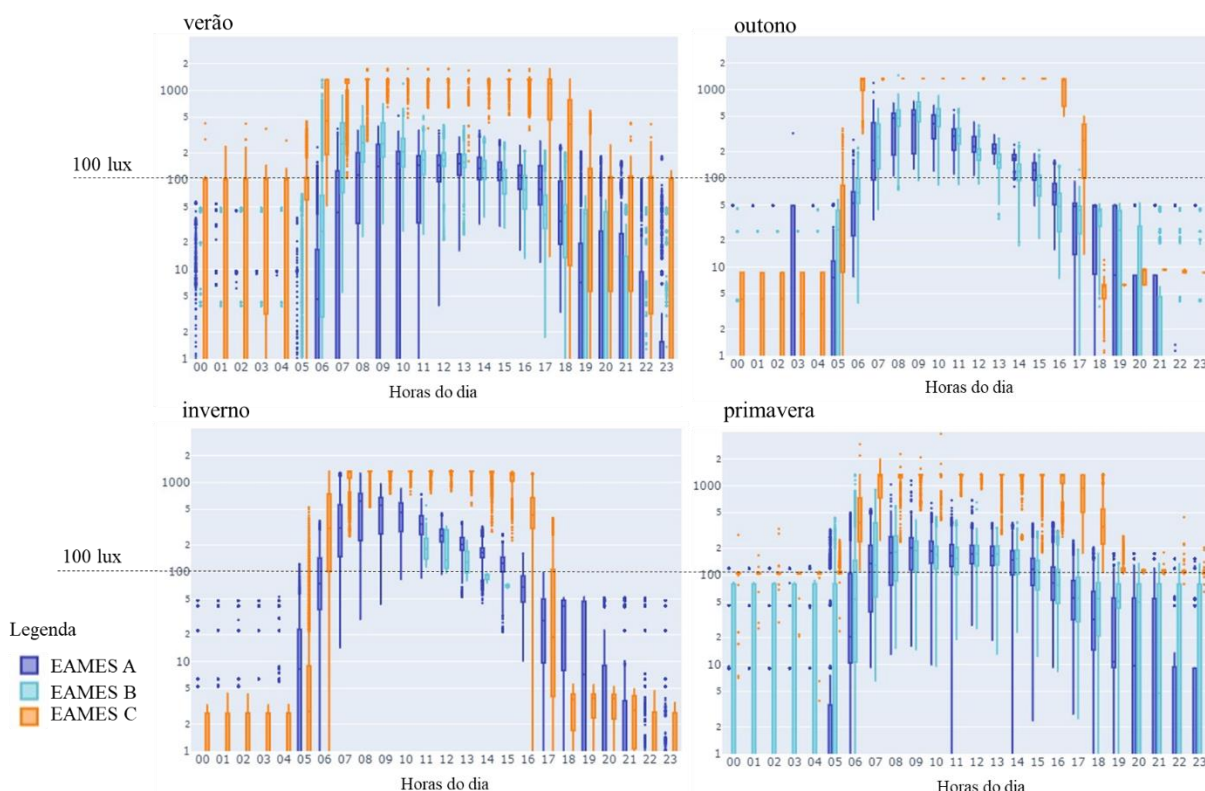


Figura 31 - Diagramas com iluminância fotópica anual na EAMES, com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux fotópico.

Ainda sobre a iluminância externa, em laranja, pode-se notar que, como ocorreu no sistema de monitoramento na Antártica, a mesma também saturou as medidas originais. No entanto, neste caso, foi em torno de 1500lux, mantendo uma linha máxima constante no período de luz do dia. Isso ocorreu devido à ajustes que deveriam ser feitos no *software* de coleta, ou seja, o código usado na captação dos dados foi igual para todos sensores (subprojetos LUZANTAR e LUZEAMES) que deveriam ter adaptações no decorrer das mudanças de demandas, tais como reduzir o ganho/tempo de integração. Contudo, ainda é possível observar o comportamento da luz medida, sem prejudicar a identificação da performance lumínica, sendo que a luz ainda representa o movimento do dia e da noite.

Percebe-se ainda, na Figura 31, que os dados internos foram registrados com um tipo de revezamento entre os dois Gateways (em azul claro e azul escuro), no interior do ambiente. Destaca-se que houve muitos percalços de funcionamento e, dentre eles, que os equipamentos foram desligados constantemente nas limpezas do local. Além disso, a internet também foi



cancelada pela própria operadora por um período determinado, o que ocasionou perda de parte dos dados.

Ressalta-se que a iluminação interna no período de verão e primavera apresentaram-se constantes com média de 200lux no período diurno e, no inverno e outono, verificou-se um pico de maior iluminância pela manhã, em torno de 500 a 1000lux e depois a luz se estabiliza nos mesmos 200lux. Esses resultados evidenciam que existe entrada de luz direta, pela janela, nesses momentos de maior iluminância no ambiente, e muita interferência da luz artificial interna, pela constância das medidas.

Na Figura 32, os mesmos dados medidos são apresentados na versão de lux melanópico, com os valores de iluminância calculados. É visível que o comportamento geral da iluminância permanece o mesmo, contudo, os valores das medidas aumentam no melanópico, o que poderá ser visualizado lado a lado na Figura 33 .

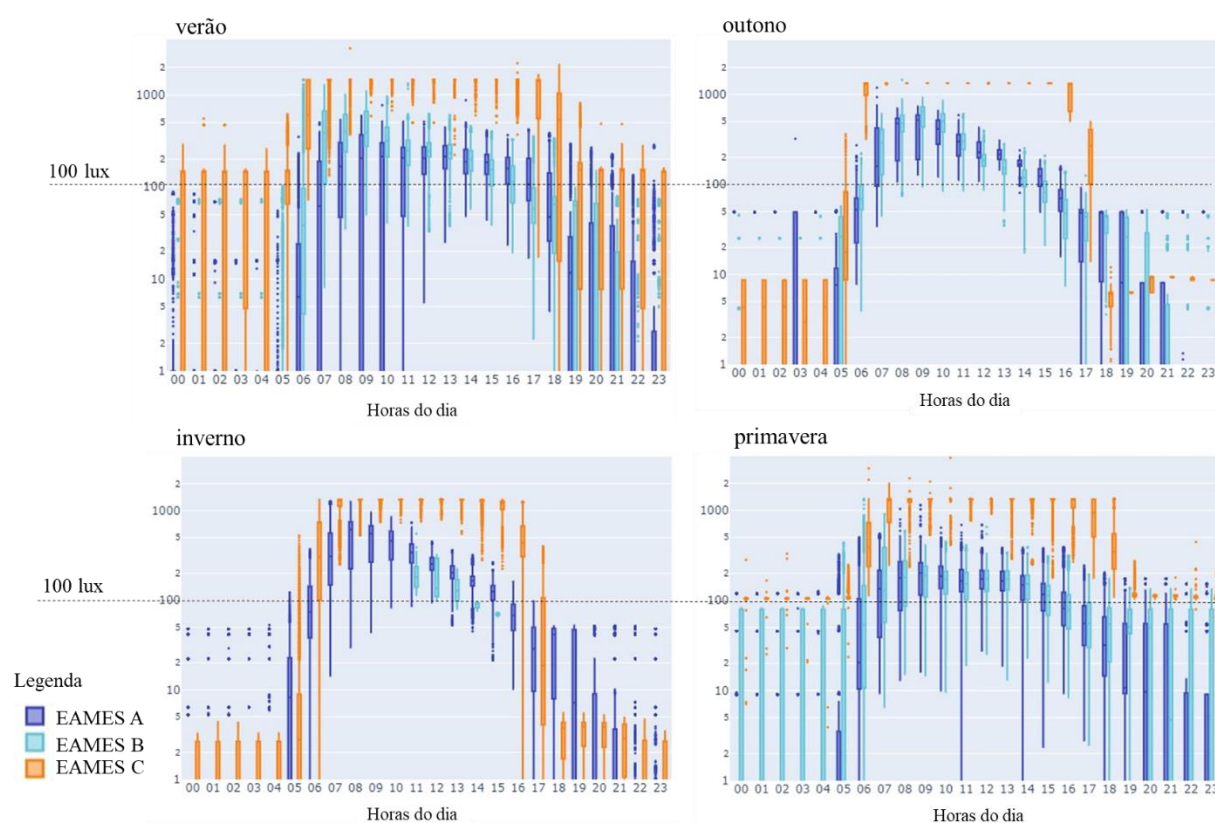


Figura 32 - Diagramas com iluminância melanópica anual na EAMES, com as médias das medições no verão, outono, inverno e primavera. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e no vertical, os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway sendo em azul, os valores internos e em laranja, os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 100lux melanópico.



A Figura 33 evidencia esse comparativo entre a iluminância fotópica e melanópica na EAMES. Os valores de medida noturno externos, que giram entorno de 100lux, na análise melanópica sobem para 150lux, e de dia, é bem evidente a diferença da luz no espaço interno, com valores no fotópico, entre 100 e 200lux e, no melanópico, um pouco acima entre 200 e 350lux.

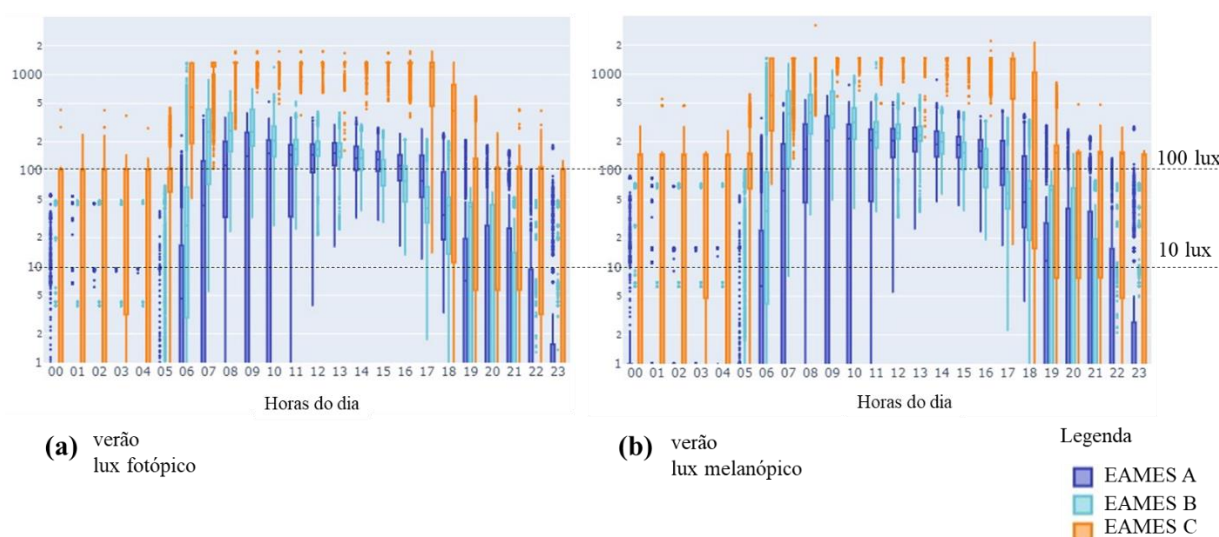


Figura 33 - Diagramas dos dados medidos na EAMES comparativo entre lux fotópico (a) e lux melanópico (b) do período de verão. No eixo horizontal estão representadas as horas do dia, e na vertical, estão os valores da luz medida. Cada diagrama contém as medidas separadas por Gateway, sendo em azul, os valores internos e em laranja os valores com predominância da luz natural externa. A linha horizontal evidencia o marcador de 10 e 100lux.

Essas diferenças quantitativas não explicitam adequadamente como esse comportamento pode influenciar o ser humano, porém é uma nova forma de análise que qualifica a luz com muito mais propriedade e, conseqüentemente, com maior potencial para identificar a sua influência sobre quem está sob essa iluminação.

Logo, de acordo com o estabelecido no referencial teórico, serão utilizadas as informações de iluminância melanópica nas sobreposições entre dados humanos e espectrais, e posteriores análises transversais, alicerçado no conceito de que os comprimentos de onda menores (azuis) ativam os receptores visuais responsáveis pela ritmicidade do ciclo circadiano.

O método de interpolação dos *counts* medidos aplicado conforme as sensibilidades fotópica e melanópica funcionam e apresentam os valores finais em iluminância apropriados para efeitos de análise e correspondências com os padrões exigidos em normativas.



3.2.2 Temperatura de Cor

O método de temperatura de cor é uma técnica usada na colorimetria para descrever a cor da luz emitida por uma fonte. Ele é baseado nas coordenadas cromáticas, que fornecem uma medida relativa das proporções das três cores primárias. As coordenadas cromáticas são obtidas a partir das funções de sensibilidade espectral dos cones do olho humano, os quais determinam a percepção de cor. A *CIE* regulamentou uma função de correspondência de cor obtidas com base nas coordenadas cromáticas propostas por Guild e Wright, em 1931 e 1928 respectivamente, que formam a base da maioria das práticas em colorimetria [144], [145].

Para realizar o cálculo da temperatura de cor a partir das referências espectrais medidas utilizou-se um método discretizado baseado na lei de Planck e adaptado para ajustar-se aos diferentes tipos de sensores espectrais [146], [147]. Teoricamente, qualquer objeto tem uma temperatura e emitirá ativamente ondas eletromagnéticas para o mundo exterior e, quanto maior a temperatura, mais curto será o comprimento de onda. Então, a cor da luz vai sequencialmente do preto ao vermelho, amarelo, branco e finalmente azul. Por convenção determinou-se na indústria da iluminação que uma lâmpada pode dizer algo como "temperatura de cor 5000K". Isso não significa que a lâmpada gera uma temperatura interna tão alta quando está em funcionamento. Essa temperatura, referente à cor da luz, é equivalente à produzida por um corpo negro na mesma temperatura, sendo um conceito chamado de *Correlated Color Temperature* ou Temperatura de Cor Correlata (CCT.)

Para calcular a temperatura de cor da luz, utiliza-se o espectro da luz e a sensibilidade dos três cones do olho humano às luzes de diferentes comprimentos de onda: *Small cones*, *Medium cones* e *Large cones*, também conhecido como função tristímulus [148], conforme Figura 34.

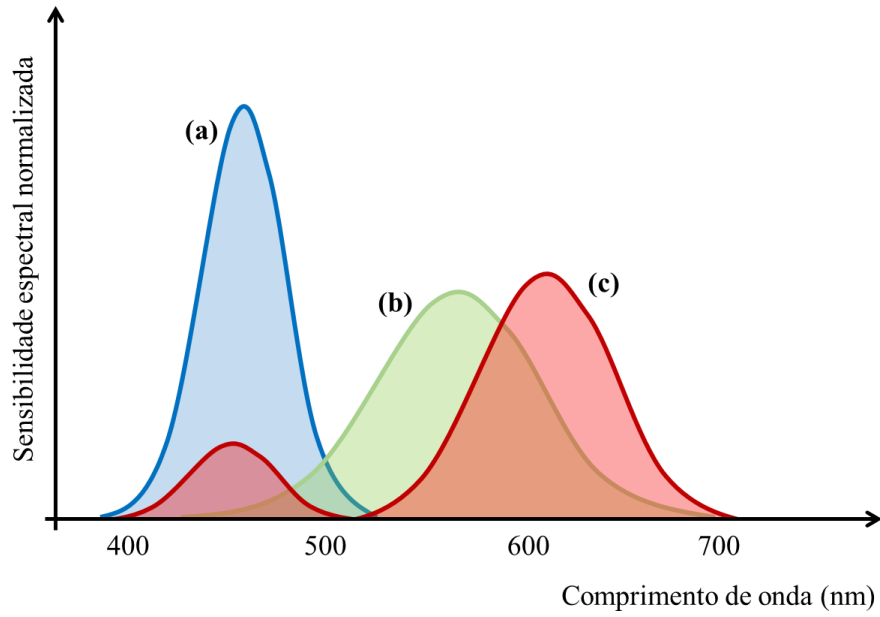


Figura 34 – Diagrama esquemático com os níveis de sensibilidade dos olhos, sendo em (a) Small cones; em (b) Medium cones; e em (c) Large cones da função tristímulus. Adaptado de [148].

Para o cálculo da temperatura de cor correlata deve-se seguir os seguintes procedimentos:

- a) O primeiro passo envolve a integração do espectro da luz com as funções do espaço de cor XYZ (equações e imagem das funções X, Y e Z a seguir):

$$X = \int_{\lambda} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

$$Y = \int_{\lambda} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad (7)$$

$$Z = \int_{\lambda} L_{e,\Omega,\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \quad (8)$$

Para $\lambda = 360, \dots, 780 \text{ nm}$

- b) Como o espectro é discretizado porque são utilizados sensores espectrais que não traçam o espectro especificamente, mas medem a contagem por bandas, o cálculo de X, Y e Z se torna um somatório das “n” bandas:

$$X = \sum_{i=0}^n L_i(\lambda) \underline{x}_i(\lambda), \quad (9)$$

$$Y = \sum_{i=0}^n L_i(\lambda) \underline{y}_i(\lambda), \quad (10)$$



$$Z = \sum_{i=0}^n L_i(\lambda) \underline{z}_i(\lambda) \quad (11)$$

Sendo x_i , y_i e z_i a área das funções ditas previamente na banda de cada canal i .

- c) Com os valores de X , Y e Z , as coordenadas x e y normalizadas, podem ser calculadas:

$$x = \frac{x}{x + y + z} \quad (12)$$

$$y = \frac{y}{x + y + z} \quad (13)$$

Que são as coordenadas x e y do gráfico do Lócus de Planck.

- d) Para o cálculo da temperatura, através das coordenadas de x e y [147]:

$$n = \frac{z - 0.332}{0.1858 - y} \quad (14)$$

$$CCT = 437 * n^2 + 3601 * n + 6831 * n + 5517 \quad (15)$$

Para calcular a temperatura de cor a partir das coordenadas de cor (x - y), é necessário usar a lei de Planck. Essa lei relaciona a temperatura de cor de uma fonte de luz com a distribuição espectral de energia da luz emitida. O código python dessa função está disponível na página web (<https://community.dfrobot.com/makelog-308499.html>), sendo que este código foi utilizado como base e feita uma adaptação aos diferentes sensores espectrais utilizados na pesquisa, com suas bandas medidas, o AS7262 e o AS7341.

3.2.2.1 Teste do Método da Temperatura de Cor

Além da iluminância, os dados medidos trazem mais informações sobre a luz, como por exemplo, a definição da temperatura de cor correlata. Com base nos resultados apresentados, posicionados no Lócus Planckiano, pode-se visualizar que a luz varia significativamente, nos diferentes horários do dia, não só em termos quantitativos, mas também qualitativos. As medidas foram organizadas e divididas em horários específicos do dia, ou seja, manhã, meio-dia, entardecer e noite, e mostram que diferentes intensidades e espectros de luz ocorrem durante o dia.



Conforme já descrito no referencial teórico, a sugestão de alguns estudos relacionados ao ciclo circadiano é que a luz da manhã, com sua elevada intensidade e espectro brilhante, ajuda a acordar o corpo e a sincronizar o relógio interno. Ao meio-dia, apresenta menor contraste na intensidade e espectro similar, sendo menos eficaz na regulação dos ritmos circadianos. Ao entardecer, com sua intensidade gradualmente decrescente e espectro mudando para tons mais escuros, a luz ajuda a preparar o corpo para o descanso noturno. Finalmente, à noite, com sua baixa intensidade, ajuda a manter a regulação dos ritmos circadianos durante o sono, liberando a melatonina. A determinação dos horários de transição entre um período e outro foram baseadas em estudo Wahl *et al.* (2019) sobre a influência da luz azul na produção de melatonina [62], e adaptado inicialmente conforme a realidade antártica e depois testado também na realidade urbana e tropical da EAMES.

Para melhor compreensão dos dados apresentados, segue a síntese dos efeitos relacionados às divisões das horas medidas da luz natural, representadas nos diagramas de temperatura de cor.

- Manhã (6:00 às 10:00h): a intensidade da luz aumenta rapidamente com o nascer do Sol, o que ajuda a acordar o corpo e a sincronizar o relógio interno. Nesse período, a luz é brilhante e o espectro apresenta temperaturas maiores, o que significa que a luz tem tons mais azulados, ideal para estimular a produção de hormônios que ajudam a manter o corpo alerta e desperto.
- Meio-dia (10:00 às 16:00h): durante o meio-dia, a intensidade da luz é a mais alta e o espectro é predominantemente nos tons azuis. Apesar da luz ser estimulante, é comum sentir um pouco de sonolência após o almoço, pois existem outros fatores como o hábito da alimentação influenciando o organismo.
- Entardecer (16:00 às 19:00h): durante o entardecer, a intensidade da luz diminui gradualmente e o espectro muda para tons mais quentes e a temperatura de cor diminui. Essa mudança na luz ajuda a preparar o corpo para o descanso noturno, estimulando a produção de melatonina, o hormônio do sono. A luz durante o entardecer é ideal para relaxar e se preparar para dormir.
- Noite (19:00 às 6:00h): a intensidade da luz é baixa e o espectro é quente em tons variáveis do vermelho. Isso ajuda a manter a regulação dos ritmos circadianos durante o sono, permitindo que o corpo descanse e se recupere. É importante evitar exposição



excessiva à luz artificial durante a noite, especialmente à luz azul emitida por dispositivos eletrônicos, pois isso pode interferir na regulação do ritmo circadiano.

Nos dados coletados na EACF e ilustrados na Figura 35, observa-se que existe uma diferença significativa nas medidas espectrais comparando os sensores internos (b), que medem majoritariamente a luz dentro do ambiente, e o sensor externo (a), que é voltado para o exterior da edificação.

Observando a luz medida no verão Figura 35(a), por exemplo, nota-se que os valores das medidas externas estão visivelmente deslocados para os 6000K, principalmente nos horários da manhã, meio-dia e tarde. Já os horários da noite apresentam um tom mais avermelhado na luz aproximando-se dos 4000K. Essa mesma característica ocorre em todas as estações do ano, com medidas no azul mais acentuadas para os períodos do meio-dia e tarde. Já nos dados oriundos das medidas internas, Figura 35(b), os gráficos mostram uma luz que não varia muito em nenhum horário do dia, aproximando todas as medidas dentro da faixa de 4000K, excluindo a parcela de luz quente e azulada não só nos horários necessários, como em toda a rotina dos ambientes internos.

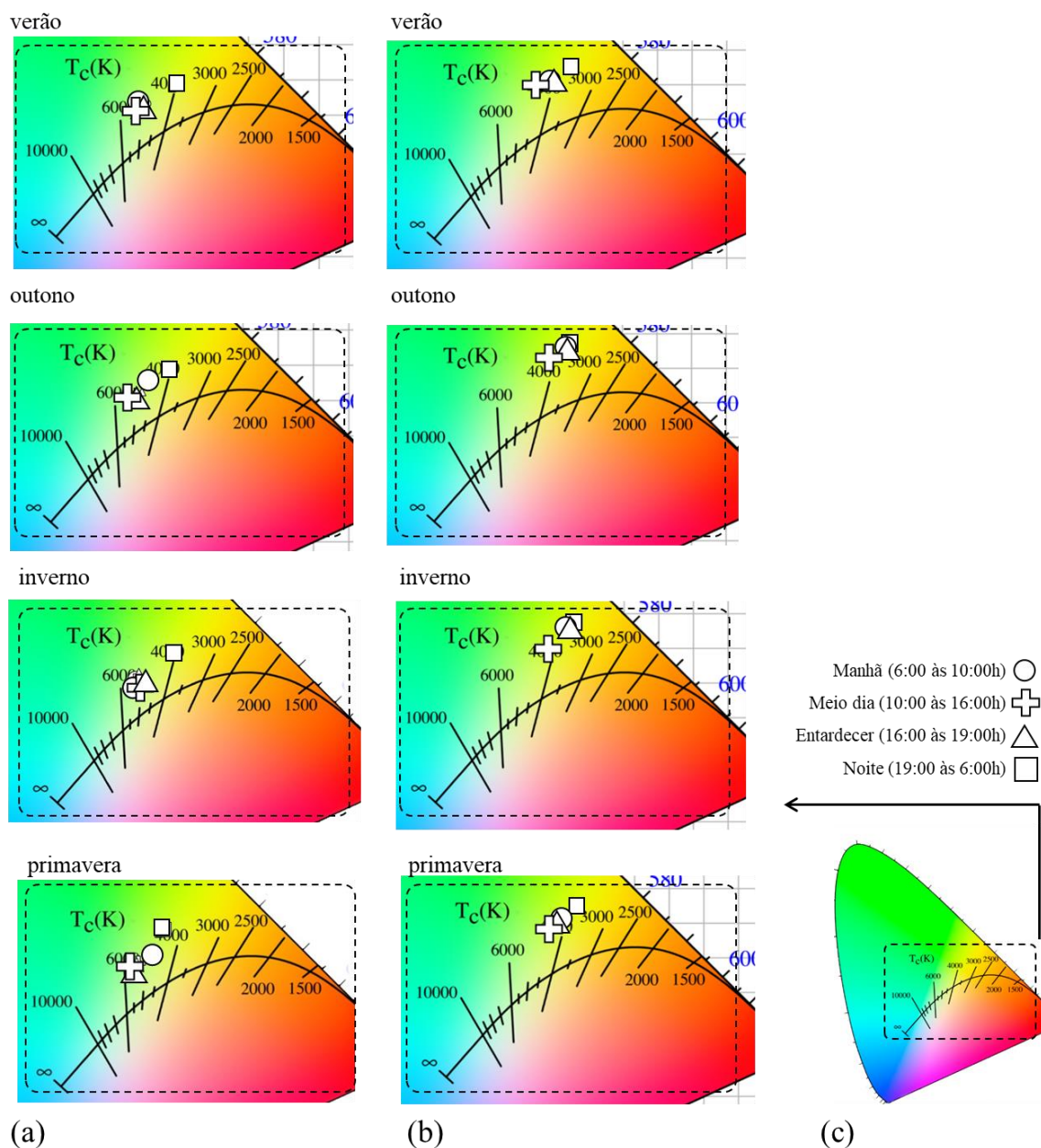


Figura 35 – Diagramas da temperatura de cor da luz medida na EACF posicionados no Lócus Planckiano, sendo em (a) os valores obtidos do equipamento que capta, majoritariamente, luz natural externa; em (b), os valores obtidos das medições da luz do ambiente interno, majoritariamente artificial; e em (c), o Diagrama CIE com o local dos detalhes e a legenda dos horários medidos.

Nos dados coletados na EAMES, os diagramas evidenciam em todas as estações do ano, a ausência de variação cromática da luz no ambiente interno, conforme apresentado na Figura 36. Ainda na mesma figura os diagramas demonstram como funciona quando a luz natural é protagonista da iluminação no ambiente (a), observando-se que no caso da EAMES, esse módulo estava instalado no corredor de circulação externo. Destaca-se que a luz medida na EAMES apresenta todos os valores, com a luz da manhã e meio-dia, sempre em temperatura de



cor mais quente, próximo dos 6000K e a medida que o dia vai chegando ao fim, a temperatura de cor vai esfriando, com maior influência dos comprimentos de onda maiores.

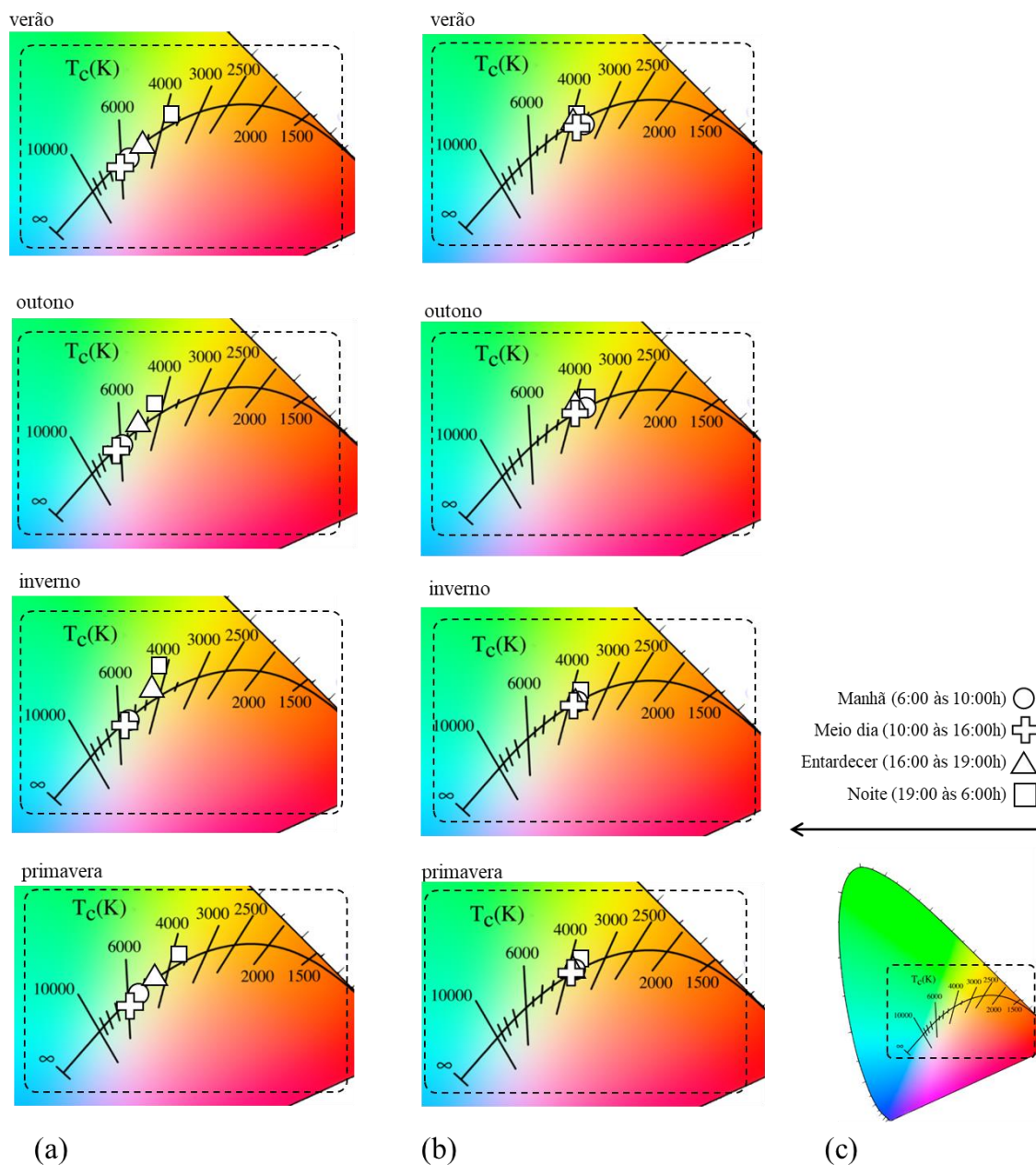


Figura 36 – Diagramas da temperatura de cor da luz medida na EAMES posicionados no Lócus Planckiano, sendo em (a) os valores obtidos do equipamento que capta, majoritariamente, luz natural externa, em (b) os valores obtidos das medições do ambiente interno, majoritariamente artificial; e em (c) o Diagrama CIE com o local dos detalhes e a legenda dos horários medidos.

Esses dados parciais da luz e seu espectro demonstram que o método de medição CCT funciona e ainda apresentam, individualmente, uma parcela de informação do comportamento da luz dentro e fora dos espaços de convivência. A forma como o organismo humano absorve essa luz e como é influenciado por ela depende de muitos outros fatores, incluindo idade, predisposição



e o próprio acesso a essa luz. Padrões podem ser identificados e trabalhados para que sejam criadas condições que proporcionem um ambiente o mais natural possível, mimetizando com alguma acurácia, o movimento do próprio planeta e suas inter-relações com o Sol, como o dia e a noite.

3.2.3 Porcentagem Espectral

A porcentagem espectral, que pode também ser denominada de balanço espectral, representa a distribuição de energia da luz em cada comprimento de onda do espectro eletromagnético. O cálculo da porcentagem espectral de uma fonte de luz é importante em várias aplicações, sendo que neste estudo, esse cálculo apresentará um panorama da composição da luz, nos dois estudos de caso, ou seja, no subprojeto LUZANTAR e no subprojeto LUZEAMES.

Para calcular a porcentagem espectral de uma fonte de luz, é necessário obter a distribuição espectral de energia da fonte. Essa informação foi adquirida com os dados brutos colhidos pelo espectrômetro, observando-se que a distribuição espectral de energia é uma função que descreve a quantidade de energia emitida pela fonte em cada comprimento de onda do espectro.

Para determinar a energia total emitida pela fonte de luz, foi preciso somar as energias em cada comprimento de onda do espectro; em seguida, a porcentagem espectral em um comprimento de onda específico pode ser calculada dividindo a energia, nesse comprimento de onda, pela energia total e multiplicando por 100.

Umas das dificuldades desse estudo foi adaptar as medidas dos sensores em um único diagrama informativo, uma vez que os comprimentos de onda medidos dos dois sensores não eram os mesmos, sendo necessário um ajuste de interpolação dos dados.

Os dados de cada um dos oito comprimentos de onda testados neste estudo ajustam-se às curvas sigmoidais de quatro parâmetros com altos coeficientes de correlação, especificamente, comprimentos de onda em 440, 460, 480, 505, 530, 555, 575 e 600 nm.

Devido à mesclagem de sensores de espectro utilizados nas duas últimas versões do Gateway, houve a necessidade de criar uma forma única de representação dos resultados, o sensor AS7262 possui medida em apenas seis canais, enquanto o sensor AS7341 apresenta medições em oito canais diferentes, conforme pode ser visualizado na Figura 37.

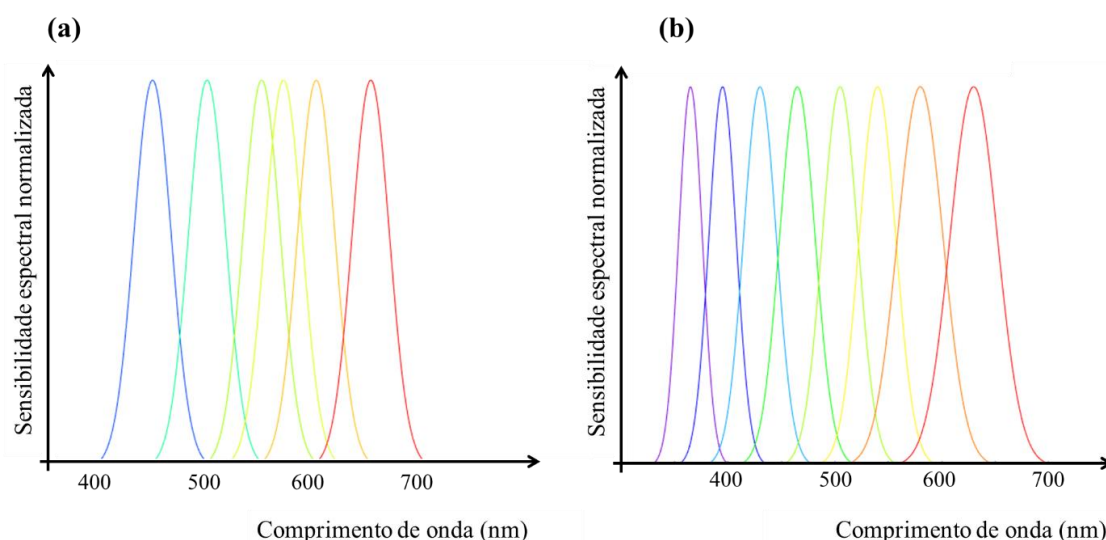


Figura 37 – Diagramas com os canais de medição AS7262 (a) e canais de medição do AS7341 (b). Adaptado de: [141], [142].

Considerando as curvas gaussianas de cada canal, nos seus diferentes comprimentos de onda, e, enquadrando a respectiva porcentagem referente a cada banda, confere-se as seguintes proporções, em cada faixa representativa, nos gráficos de análise espectral, conforme Tabela 8.

Tabela 8 . Proporções de cada banda representativa, dentro do espectro visível.

AS7262 \ AS7341	415	445	480	515	555	590	630	680
450	20.32%	43.77%	28.79%	6.78%	0.33%	0.01%	0.00%	0.00%
500	0.45%	8.15%	37.26%	40.87%	11.78%	1.35%	0.14%	0.00%
550	0.00%	0.09%	4.16%	25.42%	43.37%	21.90%	4.90%	0.17%
570	0.00%	0.01%	0.87%	11.15%	38.72%	35.97%	12.48%	0.81%
600	0.00%	0.00%	0.04%	1.78%	17.97%	42.31%	32.47%	5.43%
650	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.98%	11.38%	47.27%	40.35%

A Tabela 8 demonstra como os autores sugerem a distribuição, dos diferentes pesos, nas bandas medidas. A faixa representada pela cor azul violeta (450 nm), no sensor AS7262, corresponde majoritariamente aos comprimentos de onda medidos em 445 nanômetros (43.77%) e 480 nanômetros (28.79%) do sensor AS7341. A pequena porcentagem apresentada individualmente nas bandas adjacentes, comporta a área de intersecção relativa a uma faixa espectral e às vizinhas, garantindo uma atenuação das zonas limítrofes, entre uma banda e outra.

Da mesma forma, ocorre na cor azul ciano (500 nm), no sensor AS7262: as bandas do AS7341 que mais contribuem para esses dados, são respectivamente as de 480 nanômetros (37.26%) e de 515 nanômetros (40.87%). Após essas duas faixas, que representam a área de maior



influência entre os ipRGCs, as faixas de 550, 570, 600 e 650 nanômetros foram subdivididas utilizando o mesmo critério dos menores comprimentos de onda, obedecendo às devidas proporções, entre as áreas de intersecção das bandas.

O cálculo de pesos e interpolação foram realizados pela equipe do projeto de desenvolvimento de dados e do *software* e seguiu as seguintes etapas:

- a) Equação (16), referente ao cálculo da área da medida do comprimento de onda n .

$$A_n = \int_{380}^{780} S_n(\lambda) d\lambda \quad (16)$$

- b) Equação (17), referente à área de sobreposição ($I_{n,m}$) entre duas curvas (n, m).

$$I_{n,m} = \int_{380}^{780} F(\lambda) d\lambda; F(x) = \begin{cases} S_n(x), & S_m(x) \geq S_n(x) \\ S_m(x), & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (17)$$

- c) Equação (18), onde P é a proporção, em percentual, entre a área de intersecção entre duas bandas (n, m) em relação à área (A) n .

$$P_{n,m} = \frac{I_{n,m}}{A_n} \quad (18)$$

3.2.3.1 Teste do Método da Porcentagem Espectral

Os diagramas inerentes ao balanço espectral trazem a informação do percentual que cada comprimento de onda participa no total do feixe luminoso medido. Os dados a serem apresentados, corroboram que esta é uma forma de visualização que evidencia a importância do acesso à luz natural, por suas razões policromáticas mais equilibradas. A composição dos espectros medidos, que possuem uma maior parcela de luz natural inclusa, apresentam valores bem mais expressivos da luz azul na sua totalidade e isso importa para os receptores ipRGCs, os quais são influenciados diretamente pelos comprimentos de onda menores.

A Figura 38(a), apresenta, à esquerda, os diagramas de porcentagem espectral em todas as estações do ano, onde é exemplificado o comportamento da luz no ambiente interno medido na EACF. Já à direita na Figura 38(b), estão as informações das mesmas medições, com influência da luz externa. Nesses diagramas, pode-se verificar um aumento de mais de 10% da parcela de luz azul e ciano no total da luz medida, ocorrendo principalmente no período diurno. Ainda na



mesma figura, foram inseridas linhas tracejadas horizontais marcando as faixas de 20 e 40% de medição, apenas para facilitar a visualização e comparação entre a composição espectral da luz dentro e fora.

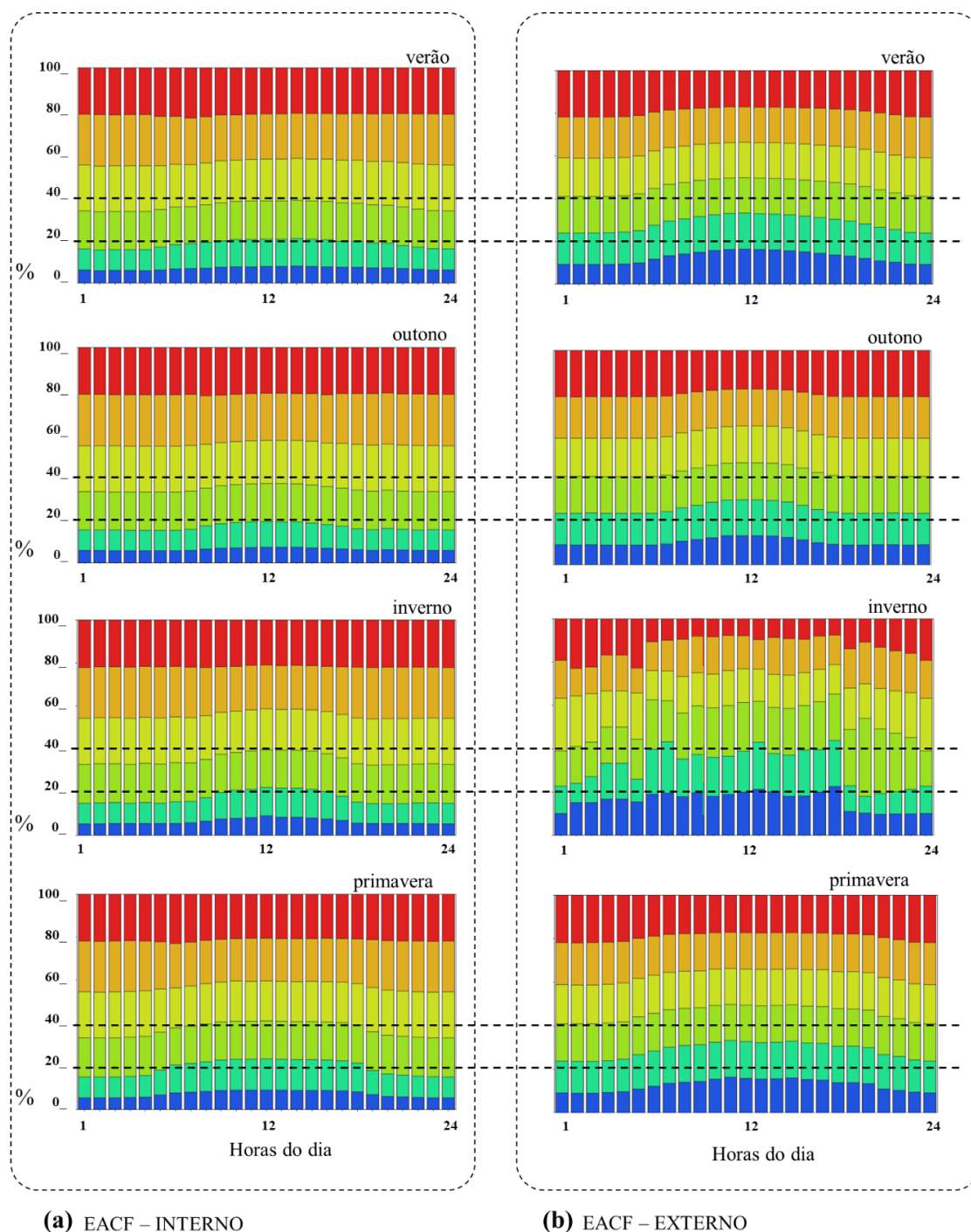


Figura 38 – Conjunto de diagramas com o Balanço Espectral da luz no subprojeto LUZANTAR em todas as estações climáticas, medido no ambiente interno (a) e externo (b). No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, o percentual espectral separado em seis canais. As linhas tracejadas evidenciam as medidas de percentual em 20 e 40 pontos, para efeito comparativo transversal entre o ambiente interno e externo da Estação.



O mesmo ocorre no estudo de caso na EAMES, conforme Figura 39, onde os valores espectrais externos (b) possuem uma composição com maior percentual dos comprimentos de onda menores, os azuis, comparado com as medidas internas (a), evidenciando a importância da luz natural na composição espectral, representando as variações do passar do dia.

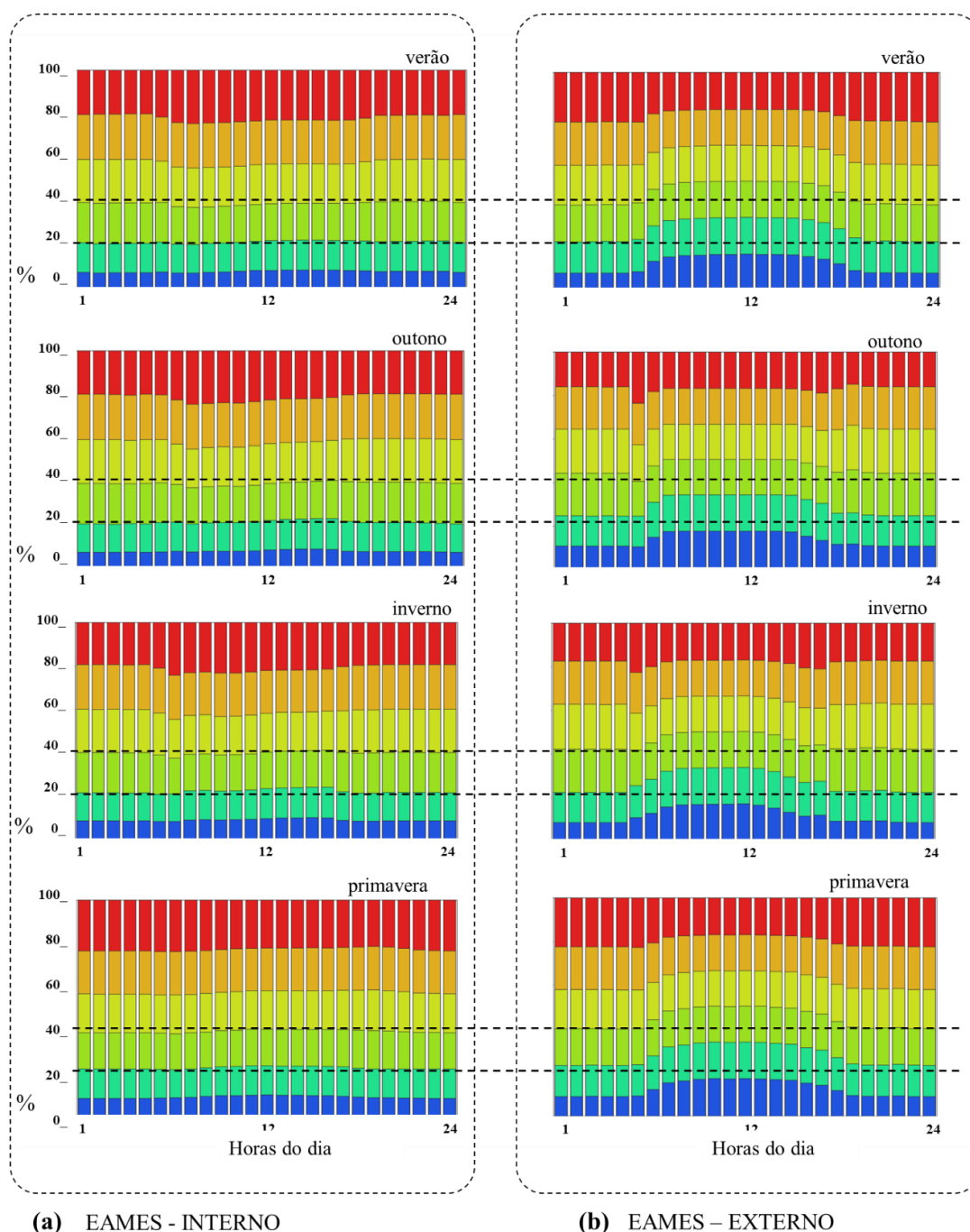


Figura 39 - Conjunto de diagramas com o Balanço Espectral da luz no subprojeto LUZEAMES em todas as estações climáticas, medido no ambiente interno (a) e externo (b). No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia, e no vertical, o percentual espectral separado em seis canais. As linhas tracejadas evidenciam as medidas de percentual em 20 e 40 pontos, para efeito comparativo transversal entre o ambiente interno e externo da Escola.



A análise dos gráficos apresentados permite observar como a luz se caracteriza em cada situação medida, por meio da representação percentual dos diferentes comprimentos de onda que a compõem. Além disso, os gráficos evidenciam as diferenças espectrais entre a luz proveniente de fontes artificiais e a luz natural, sendo esta última uma importante contribuição para a composição do espectro luminoso.

Essa forma de avaliar a luz, decomposta em comprimentos de onda, é bem comum na engenharia, em escala manométrica, especialmente nos estudos de fotônica e equipamentos que usam a luz como meio de comunicação. Contudo, no âmbito da arquitetura, na escala humana, se padroniza que a luz é um elemento funcional apenas na sua integridade, primordial para os efeitos visuais, sem considerar as questões inerentes à sua composição física. Assim, esta pesquisa busca avaliar o que se considera uma lacuna no conhecimento, incluindo padrões e necessidades fisiológicas em análises integradas de informações do espaço em que seres humanos habitam, com detalhes do que uma luz oferece comparado ao que outra luz oferece.

3.2.4 Função Cosinor

Cosinor é um método estatístico, utilizado em estudos cronobiológicos, para analisar a periodicidade de dados fisiológicos ou comportamentais em seres vivos. Admite-se que os dados seguem um padrão de onda senoidal com uma frequência e amplitude previsíveis, adotando análise de regressão para ajustar os dados a uma função de cosseno. Os parâmetros da função cosseno (amplitude, período, fase e média) podem ser usados para descrever e comparar a ritmicidade dos dados. O Cosinor é uma ferramenta utilizada para identificar e quantificar os ritmos circadianos e suas propriedades – como o tempo dos valores de pico e a força do ritmo ou padrões que se repetem, em um ciclo de 24 horas, na fisiologia e comportamento humano [149], [150], [29], [151].

Para representar o ritmo cronobiológico medido dos voluntários, e organizar essas informações em gráficos visuais, de forma que possam ser sobrepostos com os dados lumínicos para a identificação da relevância e da influência da luz sobre o ser humano, utilizou-se o método computacional função Cosinor, para detecção de ritmicidade e análise de dados biológicos. O método utiliza a regressão trigonométrica clássica que oferece suporte à análise de dados rítmicos usando modelos de cossenores de um ou vários componentes, seleção automática do melhor modelo, regressão de cossenores médios da população e avaliação de ritmicidade



diferencial [152]. Essa função está disponível para uso na página (<https://github.com/mmoskon/CosinorPy>), e utiliza linguagem de programação Python, e foi adaptada para atender aos requisitos desta pesquisa com os valores medidos dos relógios inteligentes.

Os gráficos também apresentam o valor-P, o qual indica a probabilidade de se observar uma diferença tão grande ou maior do que a que foi observada, sob a hipótese nula. Usualmente, considera-se que valores-P menores que 0,05, 0,01 e 0,001 representam evidência moderada, forte e fortíssima, respectivamente. Logo, em qualquer situação, o exato valor-P é mais informativo do que um intervalo [153]. Também conhecido como limite de confiança, informa ao pesquisador se há ou não um ritmo circadiano presente na probabilidade escolhida, com relação à amplitude e à acrófase. Se houver, a hipótese do investigador de que existe um ritmo circadiano é verdadeira e, se não houver é falsa.

Logo, no presente trabalho, foram utilizados apenas os dados dentro dos intervalos de confiança (valor-P) abaixo de 0,001, para seleção dos diagramas que seriam utilizados nas médias dos voluntários. Também foram demarcados os valores medidos no eixo vertical com a escala de normalização de -1 a +1 e separados os *labels* de atividade conforme referência de Witt et al., os quais descrevem a classificação das atividades em três níveis de intensidade: leve, moderada e vigorosa, e separa as atividades por tipo, incluindo atividades físicas e não físicas. O estudo ainda classifica [103]:

- Atividade leve: inclui atividades como caminhar lentamente, limpar a casa, e outras atividades que exigem um esforço mínimo, tais como sentar e conversar, assistir televisão e outras atividades que exigem pouco ou nenhum movimento
- Atividade moderada: inclui atividades como caminhar em ritmo moderado, andar de bicicleta, dançar e outras atividades que exigem um esforço moderado, tais como ler, escrever, trabalhar em um computador e outras atividades que exigem um esforço cognitivo moderado.
- Atividade vigorosa: inclui atividades como correr, nadar, andar de bicicleta em alta velocidade, e outras atividades como resolver problemas matemáticos difíceis, tomar decisões importantes e outras atividades que exigem um esforço cognitivo intenso.



Essa classificação foi uma importante referência para escalonar os valores extraídos das pulseiras inteligentes, e determinou as faixas de atividades medidas, adaptando-se à normalização Cosinor.

No processo de separação e classificação das atividades medidas, foram separados os códigos de cada atividade identificada e selecionada uma faixa de variação dentro desse código, definida pela intensidade da atividade. Então, por exemplo, as atividades vigorosas foram enquadradas em uma faixa normalizada entre +0,72 e +1,0 e a intensidade da atividade posiciona o valor entre esses números. Segue a Tabela 9, com os valores numéricos (*labels*) utilizados no código python:

Tabela 9 - Marcadores das atividades registradas pela pulseira inteligente.

Atividade				Sono	
Inativa	Leve	Moderada	Vigorosa	Leve	Profundo
0	entre 0 e +0,5	entre +0,5 e +0,72	entre +0,72 e +1,00	entre 0 e -0,5	entre -0,5 e -1,00
pulseira sem uso, carregando	sentado, não identificado	caminhando	correndo	sono leve	marcador sono, sono profundo e transição
90	80	1	98	112	91
3	96	16	50	123	121
6	99	17	66	124	122
83	89	49	82		
81	106	18	65		
92	108	34	26		
	25	65	33		
	105				
	19				

Esse tipo de análise de dados fisiológicos é comum na área médica, utilizada com dados temporais em cronobiologia. O método é aplicável a dados e parâmetros de componentes rítmicos de períodos conhecidos, no caso deste trabalho do período de descanso e de atividade humana, medido pelos relógios inteligentes. Os resultados em curva senoidal são extraídos através do procedimento de mínimos quadrados e delimitam uma curva representativa com essas informações e uma área de ajuste dos resultados medidos [154].

Por exemplo, dependendo do que se está medindo, pode-se observar como a temperatura corporal pode ser afetada pela estação do ano; como a produção de melatonina pode ser influenciada pela mudança de horário de verão, ou como o rendimento físico pode ser afetado



pela exposição à luz natural. Em geral, a análise Cosinor permite aos pesquisadores identificar padrões regulares nas variáveis fisiológicas e comportamentais, e avaliar a influência de fatores externos sobre esses padrões.

3.2.4.1 Teste do Método da Função Cosinor

A análise Cosinor pode ser utilizada para observar as características individuais de cada ritmo, tais como a mesor (valor médio do ritmo), a acrófase (momento do pico) e a amplitude (diferença entre o pico e a mínima) entre outros dados. A função Cosinor apresentada neste trabalho, une os dados dos voluntários que se enquadraram dentro do intervalo de confiança, e foram agrupados em estações do ano.

A Figura 40 apresenta quatro diagramas em sequência – verão, outono, inverno e primavera – dos voluntários na EACF. Duas linhas horizontais tracejadas foram inseridas nesse conjunto para destacar as diferenças evidentes no ritmo circadiano médio entre os diferentes períodos medidos. A seta vertical aponta o momento da acrófase que, com o passar das estações, vai diminuindo a amplitude. Nesta mesma visão geral é possível visualizar, ainda na escala apresentada, que a intensidade do sono (representada em valores negativos) aumenta com o passar do ano.

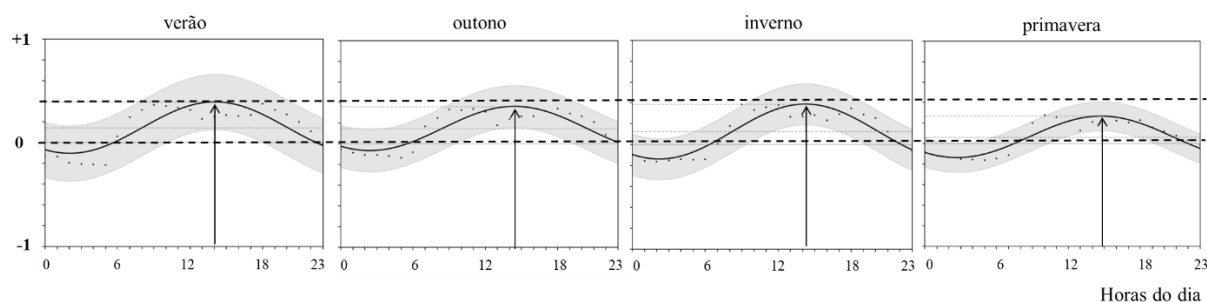


Figura 40 – Diagramas Cosinor das estações do ano, elaborados a partir dos dados coletados dos voluntários na EACF. No eixo horizontal estão as horas do dia, e no vertical, os dados normalizados de -1 a +1. As setas verticais indicam a acrófase e as linhas horizontais são as referências do “zero” e da mesor no período de verão, para efeito comparativo.

Estes diagramas trazem as informações comentadas também de forma numérica e mais precisa, que podem ser visualizados na Figura 41. Nesta figura, ressaltando a amplitude, é possível perceber que logo após o verão o utilizador da EACF tem uma pequena queda no nível de atividades que executa, sendo que este decaimento se ajusta com um novo pico no inverno, evidenciado pelo aumento do sono, e depois outra pequena queda na primavera. Essa diferença



ocorre pelas mudanças no volume de sono, que aumenta no inverno devido, provavelmente, ao período muito curto de luz natural disponível, e com o retorno da primavera, volta a se ajustar. A mesor, que é o dado médio, se comporta, neste caso, apresentando os valores, num panorama geral, em queda até o fim do ano na Antártica.

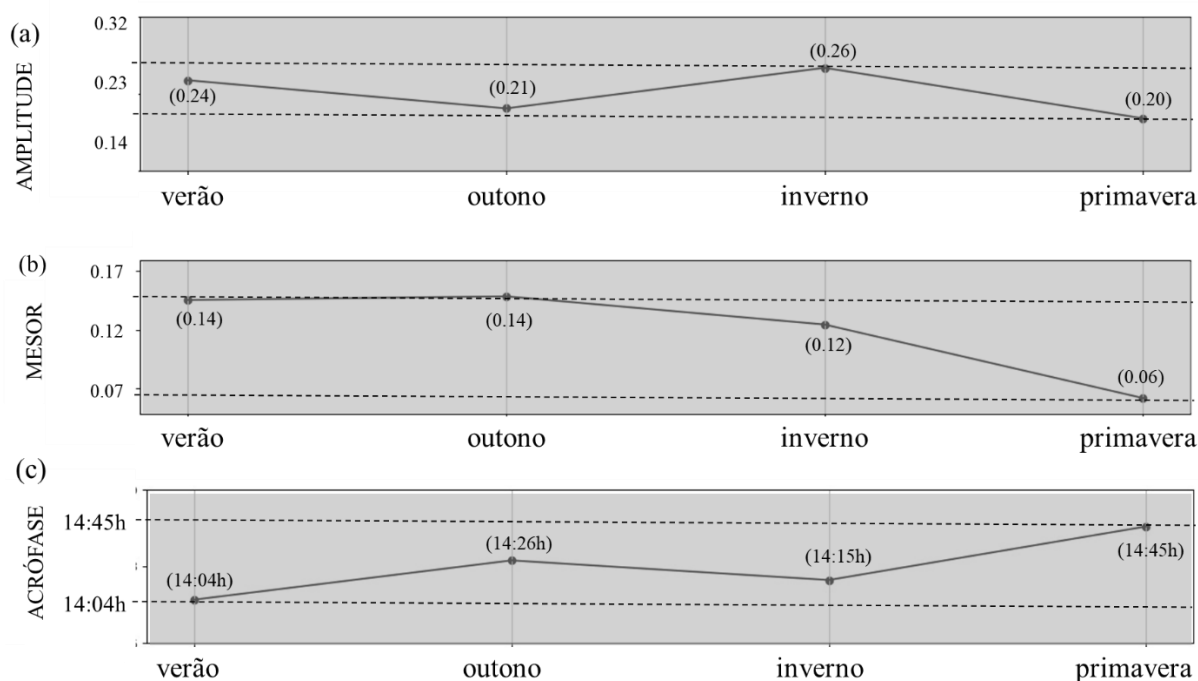


Figura 41 - Diagramas representando o comportamento das Cosinores apresentadas na Figura 40, com as variações de amplitude (a), mesor (b) e acrófase (c) dos voluntários da EACF. No eixo horizontal estão as estações climáticas e no vertical, o horário de ocorrência da acrófase em (c) reportada em horas, e os deslocamentos relativos ao “zero” da mesor e amplitude (b) e (a), normalizados de 0 a +1. As linhas tracejadas horizontais representam os valores medidos máximo e mínimo, para comparação dos resultados.

Ainda na mesma figura, visualiza-se os dados da acrófase (c), que é justamente o deslocamento do pico máximo das atividades. Neste gráfico, é visível um deslocamento de aproximadamente 40 minutos na fase da acrófase ao longo do ano.

Avaliando os diagramas Cosinor com os voluntários da EAMES, na Figura 42, pode-se detectar algo um pouco diverso no período de outono – com poucos dados coletados – mostrando um resultado bem achatado em relação às outras estações. Ignorando esse período, pode-se constatar uma rotina um pouco mais intensa no verão com maior amplitude e a mesma reduzindo ao longo do ano. O comportamento da media (mesor) segue essa mesma cadência, destacando-se ainda o período de sono do inverno que também aumenta.

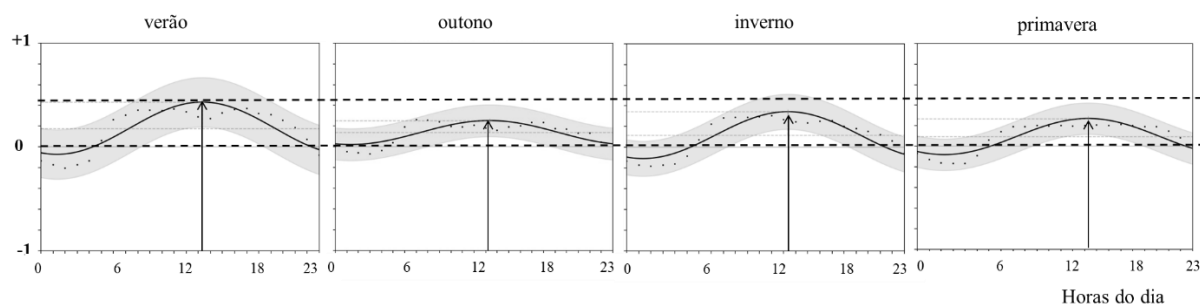


Figura 42 - Diagramas Cosinor das estações do ano, elaborado a partir dos dados coletados dos voluntários na EAMES. No eixo horizontal estão as horas do dia, e no vertical, os dados normalizados de -1 a +1. As setas verticais indicam o momento da acrófase, e as linhas horizontais são as referências do “zero” e da mesor no período de verão, como eixo comparativo.

No diagrama apresentado na Figura 43, a amplitude exibe oscilações sazonais, com o valor mais elevado observado durante o verão. De forma similar, a mesor também apresenta o valor mais alto durante o verão e exibe uma queda consistente nas médias calculadas ao longo de todo o ano. A acrófase (c) permanece no mesmo horário, atrasando apenas cerca de 40 minutos na primavera.

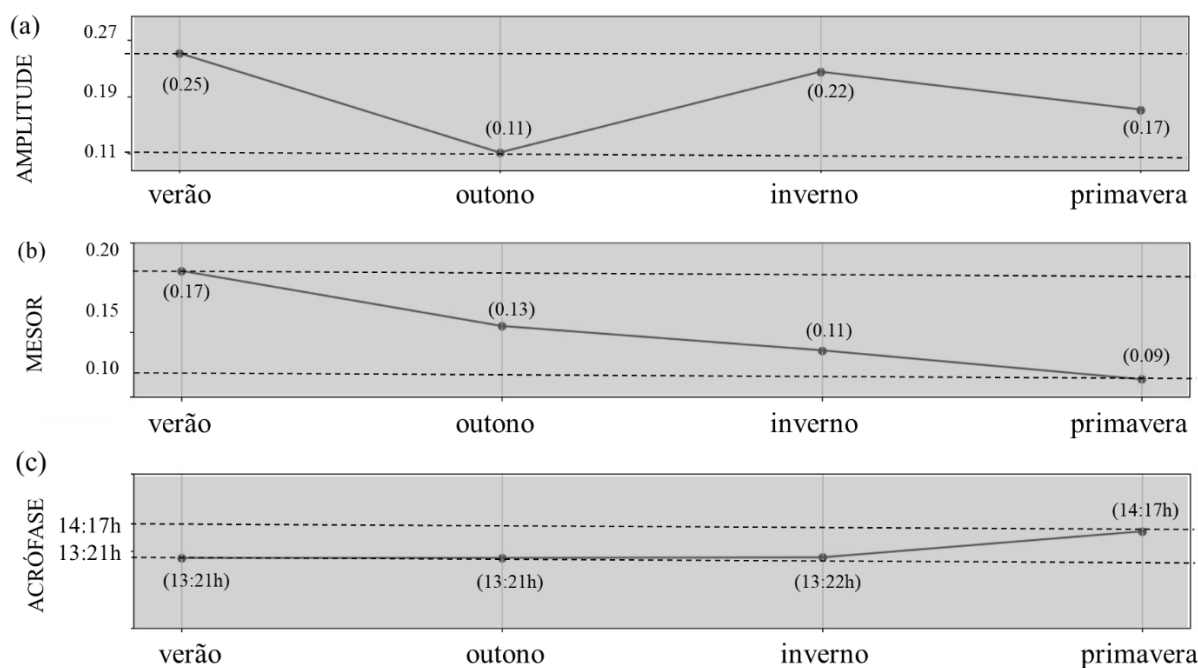


Figura 43 - Diagramas representando o comportamento das Cosinores apresentadas na Figura 42, com as variações de amplitude (a), mesor (b) e acrófase (c) dos voluntários da EAMES. No eixo horizontal estão as estações climáticas e no vertical o horário de ocorrência da acrófase em (c), e os deslocamentos relativos ao “zero” da mesor e amplitude (b) e (a). As linhas tracejadas horizontais representam os valores medidos máximo e mínimo, para comparação dos resultados.



Logo, considera-se que o método de ajuste Cosinor das atividades humanas medidas com a pulseira inteligente MiBand3 e os parâmetros estabelecidos funciona e caracteriza o ritmo circadiano dos utilizadores.



Capítulo 4 - Resultados e Discussões

Para a apresentação dos resultados da pesquisa, seguem as análises realizadas com as discussões sobre os seguintes aspectos:

- O protótipo de monitoramento, que é o produto final, de baixo custo, desenvolvido para coletar e transmitir dados ambientais e humanos;
- Análise transversal e discussão dos dados coletados, incluindo algumas sobreposições de informações como a Cosinor, iluminância, dados espectrais, e entre o comportamento dos dois estudos de caso.

4.1 O Produto

O Produto de monitoramento desenvolvido refere-se a um dispositivo conectado à internet que foi projetado para monitorar e coletar dados em tempo real. Esse dispositivo foi equipado com sensores e conectividade de rede para permitir que os dados sejam transmitidos para a plataforma de gerenciamento centralizada na Universidade.

O processo de desenvolvimento desse equipamento foi registrado em periódico específico IEEE [120], e o texto aborda os desafios para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de pessoas na Antártica, além dos entraves encontrados, o artigo também apresenta resultados preliminares da coleta de dados, que podem ser conferidos na própria publicação. Alguns dos desafios mencionados incluíram: tolerância a falhas, conectividade limitada, manutenção remota, ambiente construído com restrições, tempo de desenvolvimento limitado, recursos humanos limitados e ambiente natural inóspito. A seguir uma compilação do conteúdo do artigo, que são considerados desafios para o desenvolvimento deste equipamento e as lições aprendidas com os primeiros testes.

A. Tolerância a falhas

A tolerância a falhas é um requisito importante em sistemas de monitoramento para garantir confiabilidade, disponibilidade e qualidade de serviço em ambientes desafiadores, como a Antártica. Para isso, foi necessário conceber soluções flexíveis, capazes de detectar e recuperar os eventuais erros identificados. Para mitigar problemas relacionados à tolerância a falhas, foi



projetado um gateway que emprega uma abordagem “mestre-backup”, com três módulos na solução, ou seja, um mestre e dois backups. Se o módulo mestre falhar, um backup pode assumir suas funções. As metodologias de redução de falhas podem fornecer lições importantes em experimentos realizados em locais remotos.

B. Conectividade

O armazenamento e acesso aos dados são desafios importantes em sistemas de monitoramento. Existem duas estratégias principais para armazenar dados: localmente em dispositivos de armazenamento, como cartões de memória ou discos rígidos, ou sincronizá-los com servidores na nuvem, permitindo o acesso instantâneo aos dados. A combinação dessas estratégias também é possível, armazenando informações localmente e sincronizando quando houver conexão disponível. No entanto, a sincronização na nuvem depende de uma conexão à internet, o que pode ser um problema em ambientes remotos. A conectividade é essencial para as plataformas de monitoramento, pois os dados coletados precisam ser transferidos e a manutenção precisa ser realizada remotamente. O produto deve fornecer protocolos de conectividade adequados, e é necessário escolher cuidadosamente o *hardware* para garantir a conectividade. Um roteador 3G e Wi-Fi foram selecionados para equipar o Gateway do estudo. No entanto, problemas surgiram devido à interpretação equivocada das especificações do modem, que resultou na falta de acesso remoto ao equipamento. Assim, destaca-se que as especificações do equipamento e a reputação do fornecedor devem ser cuidadosamente consideradas para garantir o sucesso do experimento, especialmente considerando ambientes extremos, cuja substituição de equipamento é bastante complexa e dispendiosa.

C. Manutenibilidade

A manutenibilidade é um requisito de grande importância para os sistemas de monitoramento remoto, que normalmente envolvem componentes de *hardware* e *software* autônomos, que possam trabalhar em ambientes de difícil acesso. A manutenção remota é desafiadora devido à conectividade limitada. Para abordar esse problema, o projeto deve ser simplificado, tornando-o acessível para que pessoas não especialistas possam realizar manutenção básica. O dispositivo deve ser projetado para permitir fácil acesso ao módulo e ser provido com um kit de manutenção, incluindo ferramentas para abrir e conectar remotamente ao dispositivo, se necessário. Além disso, deve-se instalar uma solução de sistema operacional que permita a execução e atualização fácil do *software* do dispositivo.



D. O ambiente construído

A escolha da localização de um estudo de caso apresenta diversos desafios, como a compreensão das características do lugar e dos protocolos de segurança e funcionamento do edifício. No caso de uma estação científica sob gestão militar, as precauções de segurança impediram uma investigação completa das características locais. Diversos fatores demonstraram ser importantes para a efetividade do monitoramento, tais como a composição das paredes – que pode atenuar o sinal da Internet –, e o acesso limitado a tomadas elétricas, que podem interferir no funcionamento do equipamento. Experimentos que exigem pouca manutenção devem utilizar *hardware* robusto e uma posição fixa do sensor é necessária para garantir a consistência dos parâmetros de interferência e incidência constante de luz.

E. Tempo de desenvolvimento

O acesso à EACF é um desafio logístico devido à sua localização geográfica remota, o que dificulta o envio e recebimento de pessoas, alimentos, equipamentos e materiais em geral. O tempo para desenvolver e enviar o Gateway para a estação era limitado, pois dependia da organização logística militar durante o verão antártico. O prazo de dois meses para construir o equipamento foi curto, considerando a burocracia para a compra de materiais com recursos públicos e o tempo limitado para possíveis transportes. A lição aprendida foi que o tempo é fator fundamental que influencia diretamente nos resultados, mas a criatividade e a tranquilidade podem ajudar a superar restrições de tempo e resolver problemas não planejados durante a pesquisa.

F. Recursos humanos

A estação EACF é ocupada o ano todo por militares selecionados e treinados para a permanência por pelo menos um ano. Entretanto, por ser a equipe trocada anualmente, verificou-se uma dificuldade adicional para a coleta de dados em longos períodos, e tal aspecto influenciou diretamente no equipamento de monitoramento individual. Além disso, a coleta de dados estatísticos que envolvem seres humanos ativamente deve considerar nuances comportamentais individuais e a conscientização dos participantes, bem como a dificuldade em encontrar voluntários. Assim, a rotatividade da equipe neste estudo influenciou os resultados, já que as estatísticas foram obtidas de indivíduos e grupos diferentes, dependendo do momento da coleta de dados e influências externas. Conclui-se assim que é necessário considerar esses



aspectos ao conduzir a pesquisa e ter uma amostra de backup para evitar problemas como deserções.

G. Ambiente natural

As condições específicas presentes numa Estação Antártica influenciam o pessoal e dificultam a generalização dos resultados obtidos considerando tratar-se de uma população reduzida. A posição geográfica remota da EACF, as condições climáticas extremas – como terremotos, baixos níveis de luz no inverno e alto no verão –, exigiram atenção especial durante a investigação. Além disso, o equipamento usado na pesquisa é influenciado pela temperatura, pressão e condições sísmicas, que podem causar mau funcionamento dos dispositivos. A localização geográfica de qualquer experimento de comunicação é de grande importância, e o design do equipamento depende de muitos fatores, como a disponibilidade de energia, conectividade e condições para a manutenção. Na Antártica, a distância e o clima isolado dificultam o acesso por mar à estação durante o inverno, tornando a entrega de materiais e suprimentos seguros apenas possível por paraquedas arremessados por aviões militares. Portanto, o planejamento de experimentos para monitorar pessoas e a arquitetura na EACF deve considerar as restrições ambientais e o cronograma de atividades deve ser exaustivamente planejado.

Embora o grande desafio tenha sido a condição inóspita e atípica da Antártica, visando um estudo comparativo também houve o teste e aplicação do equipamento em área urbana e tropical, com o estudo de caso da Escola de Marinheiros do Espírito Santo. Essas experiências contribuíram para a instalação mais rápida do experimento na nova localidade, com tomadas de decisões mais seguras.

A seguir, são apresentadas as etapas de como o protótipo do produto foi concebido e aprimorado, divididas em: desenvolvimento do protótipo, componentes de *hardware* e componentes de *software* e o protótipo final.

4.1.1 Desenvolvimento do Protótipo

A versão Beta 0.0 surgiu na primeira ideia do equipamento, em que foi visualizado que não seria possível apenas utilizar sensores comerciais, mas incorporá-los em um único dispositivo a fim de atender às necessidades do projeto de monitoramento à distância. A Figura 44 ilustra



a ideia inicial, em que os dispositivos foram instalados em uma caixa simples, impressa em filamento PLA (ácido polilático) e impressora 3D do laboratório de Prototipagem no LABTEL-UFES, plugados diretamente na energia elétrica.

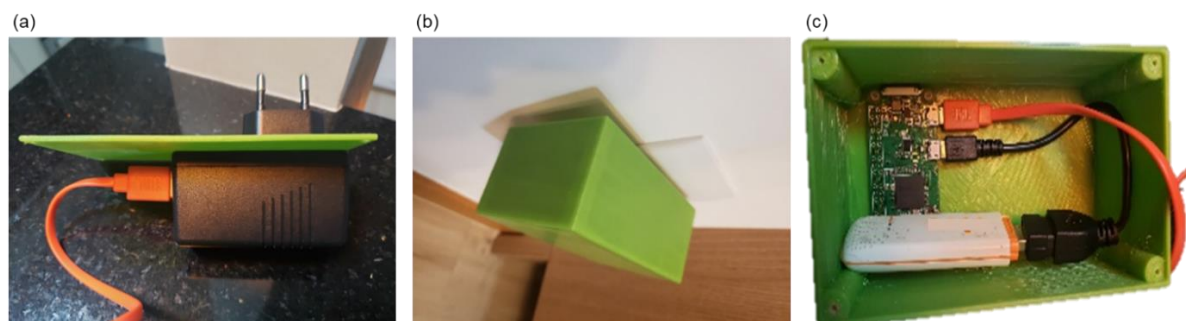


Figura 44 – Imagens do protótipo de testes do Gateway, versão Beta 0.0: (a) tampa com o plug de energia conectado dentro da caixa; (b) caixa plugada na tomada; e (c) visão interna da caixa com os dispositivos de controle e comunicação.

Até o presente momento, a função da caixa não havia sido completamente definida, bem como o número exato de aparelhos que poderiam ser acomodados em seu interior, e as especificações precisas de cada um deles. Além disso, havia dúvidas quanto ao tipo de conexões que seriam necessárias. A análise do desenho do projeto revelou que suas dimensões não eram apropriadas em virtude de sua altura. É importante ressaltar que os espaços internos de uma edificação na Antártica são normalmente dimensionados com precisão para o cumprimento de suas respectivas funções, e, portanto, a incorporação de qualquer equipamento adicional pode se tornar uma barreira. Assim, para que a caixa pudesse ser firmemente fixada na parede e não obstruísse a circulação de pessoas no ambiente, seu volume final deveria ser achatado.

Após as observações iniciais da versão Beta 0.0, foi desenvolvida uma nova caixa com proporções mais reduzidas, para ser fixada na parede com a menor interferência possível no uso do espaço e na rotina. Esta é versão chamada de Gateway 1.0.

Os componentes internos foram previamente definidos e diversas exigências foram agregadas para assegurar o funcionamento adequado dos equipamentos. Foi elaborado um modelo virtual tridimensional (representado na Figura 45) para acomodar todos os componentes internos. Quando considerado um ambiente isolado sem margem para modificações, é claramente observável que cada aspecto é de importância decisiva para a operação bem-sucedida dos equipamentos. Isso abrange detalhes como especificações precisas de parafusos, orifícios,



aberturas para ventilação, conectores de plugue, assim como outras alternativas de montagem que podem ser pertinentes.

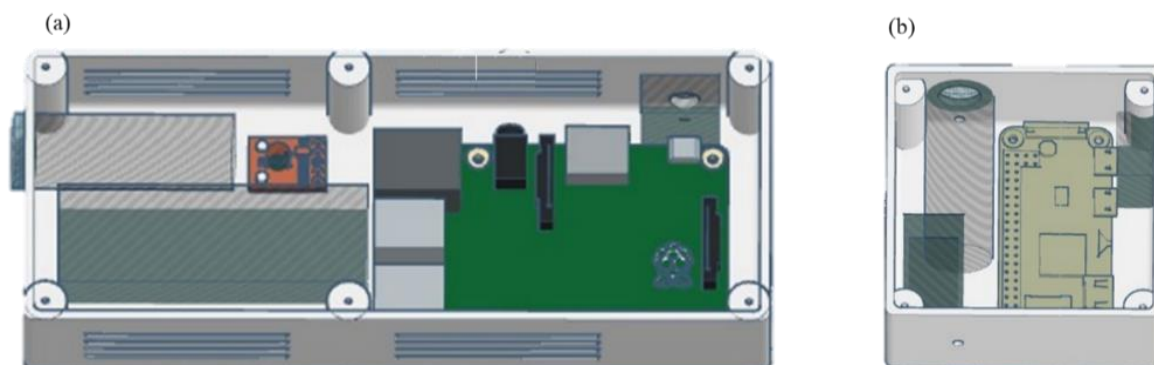


Figura 45 – Imagens do modelo virtual tridimensional para impressão com esquema de posicionamento dos dispositivos eletrônicos internos: (a) versão com modem, (b) versão sem modem. Fonte: Jordano Celestrini.

Foram elaborados dois modelos desta versão, um com modem (que apresenta dimensões consideravelmente maiores) e outro sem modem. É importante destacar que a função principal do modem consiste em estabelecer a conectividade de rede para possibilitar a transmissão dos dados coletados para a plataforma de gerenciamento de informações, e que sua instalação é requerida somente em um dos protótipos, atendendo assim ao conjunto completo.

Foram concebidas aberturas horizontais extensas para ventilação, e o acesso ao interior da caixa foi restrito por meio de parafusos que podem ser abertos durante procedimentos de manutenção, mas que dificultam o acesso por parte de indivíduos não autorizados ou não especializados no assunto.

O Gateway versão 1.0 foi equipado com um sensor tipo luxímetro, sem a proteção mecânica do vidro, e posicionado o mais próximo possível da superfície da tampa da caixa. O luxímetro foi instalado nas duas versões, com e sem modem. Além disso, a conexão de energia foi escolhida com cabo e fonte externos. A Figura 46 apresenta o resultado final desta versão.



Figura 46 – Imagens do Gateway versão 1.0. (a) versão com modem aberta, (b) versão sem modem aberta, (c) conjunto de e protótipos finalizados, enviados para teste na EACF.

Evoluir o design da versão 1.0 para a versão 2.0 foi um esforço de equipe, que resultou em uma efetiva melhoria no design e no *hardware*. A forma retangular se encaixou bem na distribuição dos dispositivos internos, porém na etapa de produção e montagem do Gateway evidenciou-se maior necessidade de espaço interno.

Com a premissa de desenvolver um protótipo único, que atendesse aos requisitos de espaço interno e organização dos dispositivos, foi construído um novo modelo, em maquete de papelão, onde foi possível testar a transição do layout entre a forma retangular e a forma redonda final.

Na Figura 47 pode-se visualizar o processo criativo de desenvolvimento desta nova versão, que passou de croquis com a ideia (a), à produção da maquete (b), depois dos ajustes feitos, e o encaixe dos dispositivos detalhados em um modelo virtual 3D, passou-se então para a etapa de impressão (c); para o resultado do teste (d) na caixa, e (e) na tampa, com os sensores.

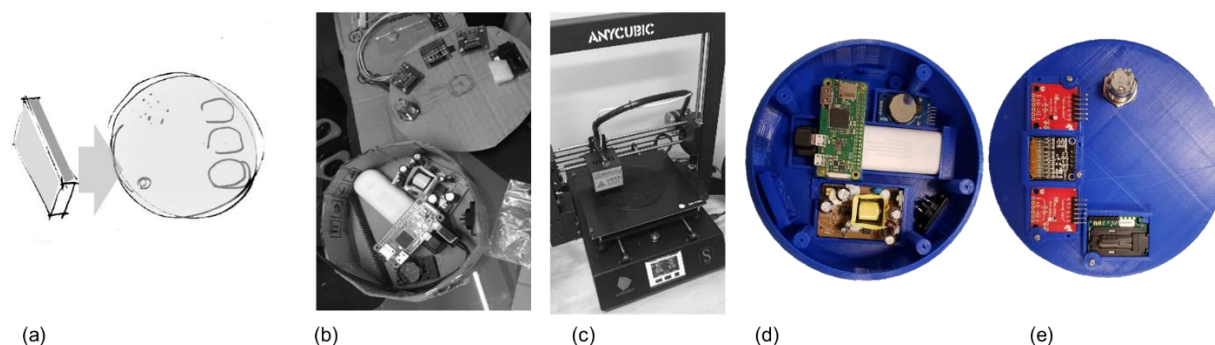


Figura 47 – Imagens com as etapas de design, da esquerda para a direita: (a) croquis com o conceito volumétrico de retangular para redondo; (b) maquete em papelão com os dispositivos internos; (c) processo de impressão 3D; (d) caixa do Gateway pronta com os equipamentos eletrônicos encaixados; e (e) tampa com sensores instalados nos nichos específicos.

O desenho da maquete física ajudou a organizar, ainda em fase de conceito, os dispositivos eletrônicos dentro do Gateway, tornando possível visualizar necessidades de espaço para conexões, cabos e possibilidades de fixação. Nesta versão 2.0, o espaço interno integrou outros sensores a bordo (espectrômetro, temperatura, CO₂ e umidade), um display OLED e um botão liga-desliga. A tampa da caixa passou, então, a ter a função de receber todos os sensores.

Na versão posterior, a 2.1, foram realizadas pequenas mudanças no *hardware* e no design. Com a necessidade de mudança de cor do filamento – em função de disponibilidade de material na Universidade – embora pareça uma mudança inexpressiva, ocasionou alguns problemas relacionados à transparência da caixa, que tiveram que ser solucionados. Por isso, ajustes na espessura da tampa foram necessários, conforme ilustrado na Figura 48.

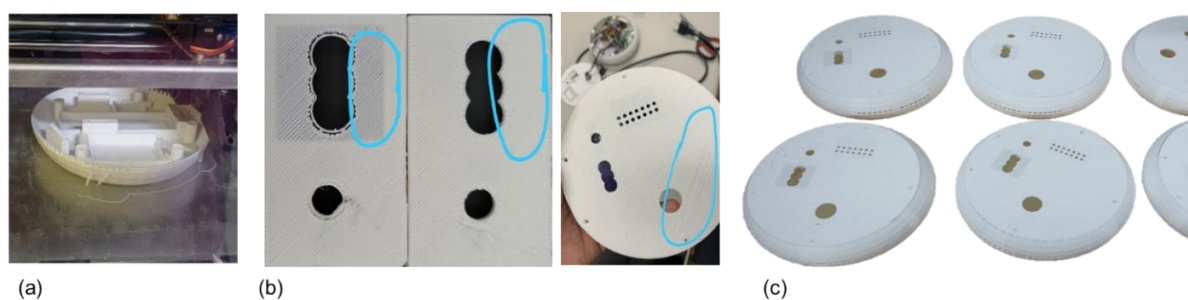


Figura 48 – Imagens com o processo de impressão 3D do Gateway: (a) caixa sendo impressa; (b) imagem com detecção de falhas na impressão; e (c) conjunto das carcaças impressas prontas para montagem.

Considerando que se trata de um equipamento de IoT, serão expostas a seguir as questões de escolhas no desenvolvimento do protótipo inerentes tanto aos componentes de *hardware* quanto aos de *software*.



4.1.2 Componentes do *Hardware*

A cada versão do Gateway houve uma melhoria nos sensores instalados. Apesar do protótipo conter outros tipos de sensores para testes de funcionamento e aplicações futuras – como de qualidade do ar, com coleta de dados de temperatura, umidade e também de CO₂ – serão apresentados apenas os dados e escolhas dos sensores espectrais, uma vez que a pesquisa focou na influência do espectro luminoso no sistema cronobiológico.

A placa controladora escolhida para o Gateway foi o Raspberry Pi Zero W, devido ao fato de este dispositivo atender às necessidades de comunicação dos sensores e às demandas de IoT do equipamento. Foram realizados testes com outras versões do Raspberry, porém o custo-benefício da versão selecionada foi determinante na escolha, uma vez que possui um valor de mercado em torno de R\$ 400,00, mais baixo do que outras versões. Neste momento da pesquisa, sabe-se que o custo pode diminuir com versões atualizadas, porém o valor prevaleceu na seleção. Ainda em relação à placa de controle, foi necessário utilizar fontes originais, pois as alternativas apresentaram muitos problemas de funcionamento difíceis de resolver remotamente. Todo o processo de erro e acerto da construção pode ser verificado em publicação específica, detalhando os desafios e as soluções encontradas no desenvolvimento do mesmo [120].

Neste protótipo foram utilizados e testados três sensores de luz: o BH1750FVI, medidor de iluminância, do fabricante ROHM, valor de mercado atualizado em torno de R\$20,00, na versão 1.0 do Gateway; os AS7262 e AS7263, cada um com medições em seis bandas espectrais na área do visível e do infravermelho, fabricante AMS, valor de mercado em torno de R\$ 80,00 cada, utilizado na versão 2.0 do Gateway; e por último, o AS7341, na versão 2.1, este com onze canais de medidas espectrais, fabricante Adafruit Industries, com valor de mercado em torno de R\$100,00.

Outros sensores foram testados, contudo, a acessibilidade em termos econômicos e comerciais, a disponibilidade do mercado nacional e questões burocráticas restringiram a escolha dos sensores. Informações individuais de cada sensor como parâmetros de coleta, faixa de medida, unidade utilizada e acurácia podem ser conferidas em detalhes na Tabela 10.



Tabela 10 - Dispositivos de coleta separados por versão do Gateway e suas especificações.

Especificação dos Equipamentos de Coleta						
Versão do protótipo	Instrumento de coleta	Parâmetros coleta	Faixa de medida	Unidade	Acurácia	Imagem
Versão 1.0	BH1750FVI - ROHM Semiconductor luxímetro	Sensor de luz de ambientes - iluminância	Ampla gama e alta resolução (1- 65535 lx)	lux	Precisão: $\pm$ (20%)	
	Pulseira Mi Band 3	Acelerômetro de 3 eixos e sensor de frequência cardíaca PPG	Monitor sono Contador de passos Frequência Cardíaca	-	-	
Versão 2.0	Espectrômetro visível AS7262	Solução de espectrometria compacta de 6 canais:	6 canais visíveis: 450nm, 500nm, 550nm, 570nm, 600nm e 650nm, cada um com 40nm FWHM	nm	Individual em cada comprimento de onda $\pm$ (5nm)	
	Espectrômetro no infravermelho AS7263	Solução de espectrometria compacta de 6 canais:	600 nm até 870 nm	nm	Individual em cada comprimento de onda $\pm$ (5nm)	
	SCD30 - CO ₂ , RH/T - Qualidade do Ar - Sensirion	Sensor de qualidade do ar	Faixa de medição: 400 ppm - 10.000 ppm	ppm	Precisão: $\pm$ (30 ppm + 3%)	
	Pulseira Mi Band 3	Acelerômetro de 3 eixos e sensor de frequência cardíaca PPG	Monitor sono Contador de passos Frequência Cardíaca	-	-	
Versão 2.1	Espectrômetro Adafruit AS7341	Solução de espectrometria compacta de 11 canais	8 canais ópticos distribuídos ao longo da faixa visível 3 canais extras: canal Clear, Flicker e NIR	nm	Individual em cada comprimento de onda $\pm$ (10nm)	
	SCD30 - CO ₂ , RH/T - Qualidade do Ar - Sensirion	Sensor de qualidade do ar	Faixa de medição: 400 ppm - 10.000 ppm	ppm	Precisão: $\pm$ (30 ppm + 3%)	
	Pulseira Mi Band 3	Acelerômetro de 3 eixos e sensor de frequência cardíaca PPG	Monitor sono Contador de passos Frequência Cardíaca	-	-	

O MIBAND3 foi selecionado como o relógio inteligente mais adequado e viável para coletar dados humanos neste projeto. A escolha deste relógio foi determinada por ele possuir sistema



de protocolo de comunicação aberto, permitindo tratar os dados de forma autônoma, além disso é um equipamento muito econômico, com valor de mercado atualizado em torno de R\$120,00. Foi desenvolvida a comunicação de *software* e IoT para coletar e processar os dados em cooperação com o grupo de pesquisa do laboratório Laboratório “*Multimedia and Networking Research Lab*” (LPRM-UFES), da Universidade Federal do Espírito Santo.

A Figura 49 ilustra esse processo de escolha do equipamento, testes feitos de comunicação entre os gateways e as pulseiras inteligentes e os relógios prontos para envio aos voluntários, com instruções de uso incluídas nas caixas.

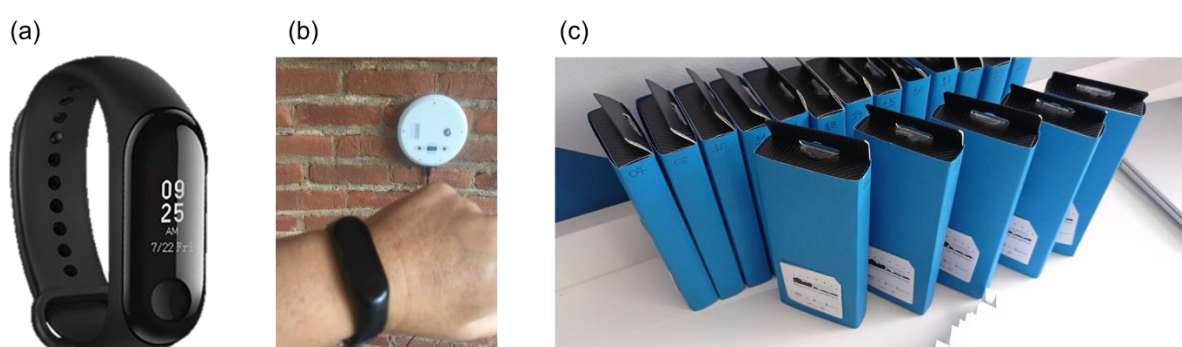


Figura 49 – Imagens da pulseira inteligente (a), foto do Gateway em teste de comunicação (b), e imagem de como foi feita a organização para entrega das pulseiras aos voluntários (c). Foto: [155] (a); (b) e (c) a autora.

Nos testes da pulseira inteligente foram gravados os movimentos humanos em rótulos numéricos de atividade (*labels*). As informações do que cada rótulo significa não são fornecidas pelo fabricante e foi necessária a identificação dos *labels* relevantes, para posteriormente serem verificados em laboratório. A Tabela 11 apresenta a identificação de cada atividade reconhecida. Logo, foi possível estabelecer um panorama de ações do indivíduo e apresentar uma rotina de atividade, sedentarismo e tipo de sono que cada voluntário experienciou.



Tabela 11 - Tabela com identificador de atividades da pulseira inteligente MIBAND3.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO
98, 50, 66, 82, 65, 26	Em movimento rápido, iniciando ou parando um movimento rápido de deslocamento
1, 16, 17, 33, 49, 18, 34, 65	Em movimento lento, iniciando ou parando o movimento lento que inclui deslocamento
112	Marcação de sono com movimento muscular
122	Marcação de sono sem movimento muscular
80, 96, 99	Sentado parado
96	Em pé sem movimento
90	Parado há 5 minutos
3	Não utilizando a pulseira
6	Carregando a pulseira
83	Não utilizando a pulseira voltada para cima
115	Não utilizando a pulseira voltada para baixo
121	Período de transição entre sono profundo e leve
123	Marcador de início do sono
124	Marcador de interrupção do sono
81	Inativo
91	Marcador de inatividade há 10 minutos
106	Marcadores não identificados

Cada voluntário recebeu um relógio com instruções de uso e orientações quanto à recarga e uma cópia da autorização do comitê de ética para participar da pesquisa. No caso da EACF havia um responsável de comunicação entre a equipe de trabalho e os voluntários e, na EAMES, esse contato foi mais direto, justamente devido à acessibilidade dos participantes.

As pulseiras deveriam ser utilizadas ininterruptamente, medindo dados de atividades diurnas, como rotina de movimentação, e noturnas, como tipo de sono e frequência cardíaca. Os voluntários eram responsáveis pela recarga da pulseira e por utilizá-las.

Devido à longa duração do projeto de pesquisa, a versão da pulseira inteligente MIBAND3 passou a ficar desatualizada, mesmo com relógios novos. Pelo tempo de fabricação suas baterias não duraram de acordo com a necessidade e no último ano de coleta muitas delas começaram a apresentar problemas de funcionamento e desgaste. As novas versões lançadas do MIBAND não forneciam protocolos abertos e a substituição dos relógios por novos se tornou inviável.



4.1.3 Componentes do *Software*

A partir das ocorrências anteriormente relatadas, um novo produto foi desenvolvido com outro equipamento IoT. Desta maneira, foi possível ressaltar o design comumente associado à sua forma e estética como parte do desenho conceitual de funcionamento do mesmo, desenhado para medir a luz ambiente e funcionar como um coletor de informações de dispositivos vestíveis que coletam dados humanos.

Todos os dados foram coletados por sensores conectados por uma placa controladora interna e armazenados, inicialmente, em cartões de memória. Os dados eram enviados, via internet, para um banco de dados da Universidade e, então, processados em laboratório.

A construção deste produto para monitoramento humano e ambiental demandou diversas características construtivas e, também, exigiu uma equipe multidisciplinar para construí-lo. As etapas de construção foram as seguintes:

- Etapa inicial: aquisição dos *hardwares* e realização da montagem,
- Etapa dois: desenvolvimento dos códigos para aquisição e transferências de dados,
- Etapa três: montagem da estrutura de IoT, a qual forneceu todas as conexões entre as soluções de *hardware* e *software*.

Na etapa inicial foram definidos quais seriam os dispositivos internos, sendo escolhidos, além dos artefatos eletrônicos internos, as conexões e os sensores. Posteriormente, os equipamentos foram montados, determinando a capacidade de espaço interno mínima necessária para encaixá-los e, ainda, sobrar algum espaço para eventuais necessidades e para manuseio. Tudo foi devidamente concebido para que a mão humana pudesse realizar manutenções preventivas e corretivas.

Os sensores instalados mudaram conforme cada versão era aprimorada. Além das necessidades do próprio projeto, a disponibilidade de dispositivos eletrônicos no mercado é efêmera, ou seja, a tecnologia muda permanentemente e o uso dos produtos precisam considerar essas atualizações. Além dos sensores espectrais outras características técnicas fazem parte do desenvolvimento de cada versão do protótipo. A Tabela 12 apresenta os dispositivos selecionados internamente, em cada versão do Gateway.



Tabela 12 - Distribuição dos dispositivos em cada versão do Gateway.

características técnicas		Imagem	Versão				
			0.0 beta	1.0	1.0 slave	2.0	2.1
sensor	BH1750FVI - ROHM Semiconductor luxímetro		✓	✓	✓		
	AS7262 + AS7263 - AMS SparkFun medidor espectral 6 bandas cada					✓	
	AS7341 - Adafruit medidor espectral 11 bandas						✓
	D30 - CO2, RH/T - Sensirion medidor qualidade do ar					✓	✓
placa	DC 5V 3A Micro USB Raspberry Pi Source		✓	✓	✓	✓	✓
	Raspberry Pi Zero W		✓	✓	✓	✓	✓
	Raspberry Pi 2			✓			
conectividade	Modem USB 3G		✓	✓			
	Modem USB 4G MF79U					✓	✓
utilidade	SSD1306 Painel OLED 0.96"					✓	✓
	RDS3231 Relógio de tempo real					✓	✓

A segunda Etapa do projeto foi feita em parceria com o LPRM, que desenvolveu o produto HDASH [156], para monitoramento de pacientes, o qual organiza a interface dos dados coletados pelos sensores e envia para seu próprio banco de dados na Universidade para então disponibilizá-los online, para download. Este *software* precisou de alguns ajustes específicos, para atender às necessidades de posicionamento remoto dos estudos de caso do subprojeto LUZANTAR, como foi denominado a parte do estudo de monitoramento que ocorreu na EACF.



Na terceira Etapa do projeto, foi definida a arquitetura IoT, ilustrada na Figura 50.

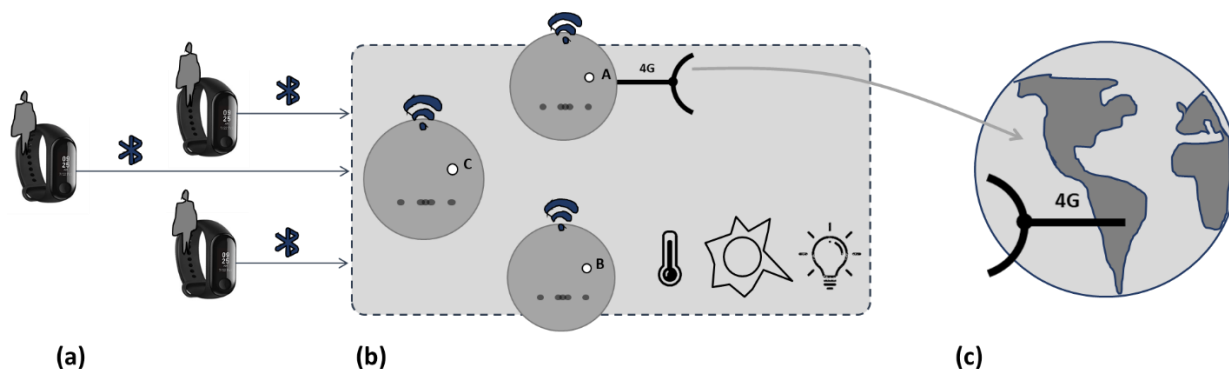


Figura 50 - Arquitetura IoT do equipamento. Em (a) os sensores de dados humanos que se comunicam com os Gateways por bluetooth; em (b) os Gateway ficam em conjunto em um ambiente atuando com os sensores ambientais de temperatura e luz natural e artificial, e se comunicam entre si através de wi-fi e apenas um dos Gateways transfere os dados coletados via 4G para o banco de dados da Universidade (c).

Na área central do projeto, Figura 50(b), estão os Gateways, distribuídos nos ambientes de medições, onde todos os equipamentos captam os dados recolhidos pelos sensores vestíveis, conforme demonstrado na Figura 50(a), e coletam também dados ambientais como temperatura, umidade, qualidade do ar (CO₂). Um desses Gateways se comunica com o banco de dados de armazenamento, Figura 50(c), e todas as informações são enviadas via 4G para um servidor na Universidade, para posterior tratamento dos dados.

4.1.4 Produto Final

O protótipo de monitoramento remoto desenvolvido, chamado de Gateway, foi instalado nos dois estudos de caso denominados subprojetos LUZANTAR e LUZEAMES.

A apresentação de um *hardware* com *software* próprio, desenvolvido com baixo custo, é o resultado do projeto do protótipo de monitoramento. Este *hardware* pode ser instalado em ambientes internos, e se comunicar com os sensores externos humanos, fornecendo informações relevantes sobre o ambiente ou o usuário. É importante destacar que é necessário garantir que o *hardware* e o *software* sejam projetados de forma segura, confiável e eficiente para atender às expectativas do usuário.

A versão final possui sensores espectrais e de qualidade do ar, além de espaço para inclusão de novos sensores, conforme novas necessidades específicas de projeto. A comunicação com os sensores externos funcionou muito bem tanto no estudo de caso da EACF, com menos pulseiras inteligentes conectadas, como na EAMES, com um número maior de utilizadores.



Alguns equipamentos apresentaram falhas, geralmente causadas por ações humanas, como desligamento do protótipo da energia, falha dos cartões de memória, ou por problemas de conexão da Internet, embora o equipamento tenha sido projetado para enviar os dados remotamente de forma contínua e simultânea à coleta, a interrupção da internet não foi um impeditivo para a continuidade da coleta, contudo protocolos da própria empresa fornecedora de telefonia, nos dois estudos de caso, cancelaram os planos – por detectarem falta de movimento dos chips – que eram chips para conta de telefone móvel.

Após as etapas de produção, os testes e resoluções de problemas previstos na metodologia, o produto final consiste em uma caixa em material PLA, com locais específicos para encaixe dos *hardwares*, conforme desenho na Figura 51.

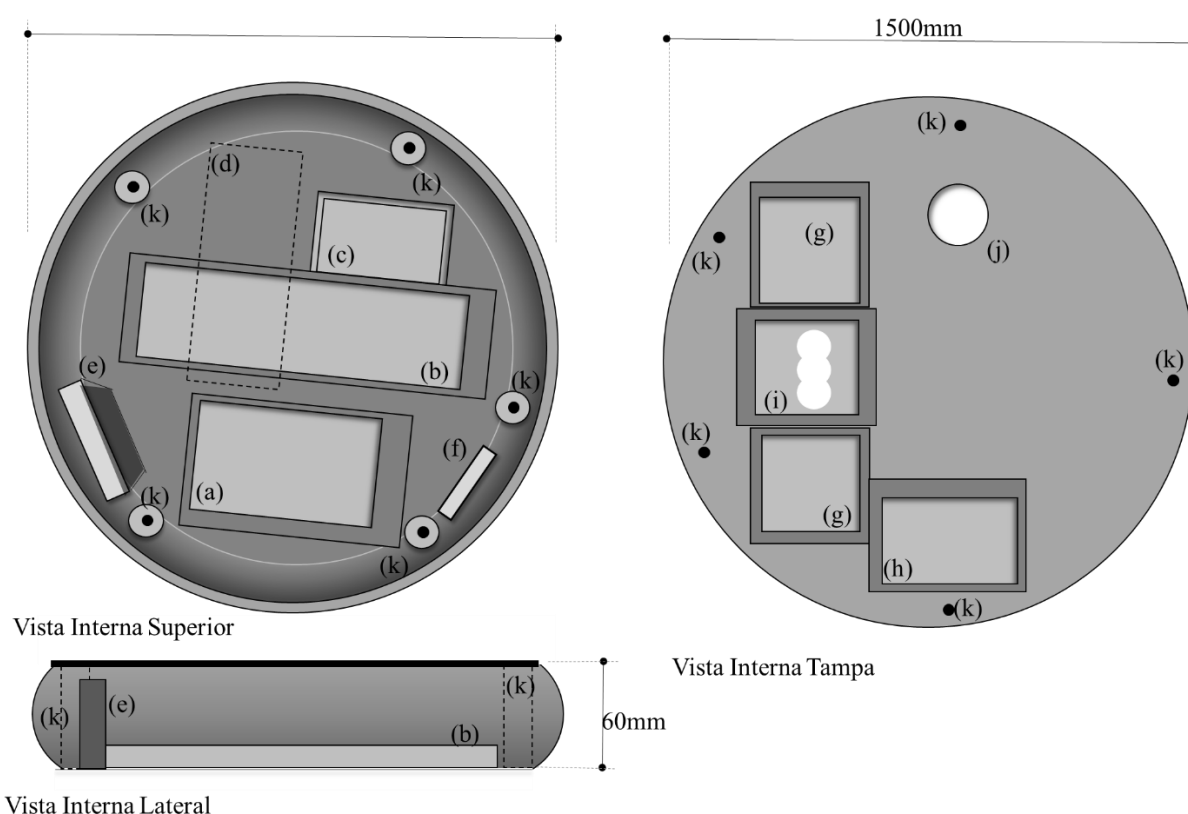


Figura 51 - Planta, vista lateral e tampa do equipamento Gateway e suas partes especificadas: (a) local para a fonte, (b) espaço para o modem, (c) encaixe do relógio em tempo real, (d) placa controladora Raspberry centralizada, (e) suporte para a placa reguladora de tensão, (f) encaixe e fixação do plug de energia, (g) pontos de fixação dos sensores espectrais, (h) local do controle de qualidade do ar, (i) mini painel OLED, (j) orifício para encaixe do botão liga e desliga, (k) pontos reforçados para os parafusos que conectam a tampa com a caixa.

Os dispositivos foram distribuídos dentro do espaço da caixa para facilitar a montagem e conexão dos equipamentos internos, sendo os sensores organizados na tampa e, centralmente, ficou posicionada a placa controladora. A alimentação é feita com energia por cabo e existem



aberturas laterais que funcionam como rasgos lineares para ventilação dos equipamentos internos, e o fechamento da tampa é por parafusos. Existe um relógio de tempo real embarcado no sistema e as conexões foram feitas através de uma placa reguladora de tensão, para melhor proteção dos dispositivos.

De acordo com a Figura 52, essas conexões podem ser visualizadas observando-se que há espaço para adicionar mais sensores e ventilação no interior do equipamento. Estas possíveis melhorias podem tornar o equipamento ainda mais completo e funcional, oferecendo um maior leque de possibilidades para o utilizador, em outras necessidades de monitoramento.



Figura 52 – Gateway na versão final, com as conexões montadas.

A forma arredondada final do produto foi bem recebida nos dois estudos de caso, observando-se que não interferiu no uso da parede e do espaço; a localização dos sensores na tampa superior ajudou a organizar o método de construção manual e o acesso. Além disso, a espessura do protótipo ficou adequada, com pouca proeminência no plano vertical, tornando discreta a sua presença na parede dos ambientes.

A disposição dos sensores na tampa da caixa mostrou-se como uma solução adequada para assegurar a coleta e a medição precisa dos dados ambientais, além de garantir espaço para inclusão de novos sensores. Externamente, pode-se notar que o equipamento conta com um sistema de sensores ambientais para medir a qualidade do ar, temperatura, umidade e CO₂.



Além disso, a inclusão de sensores espectrais e um display OLED, com informações de conexão, e um botão de liga/desliga, são características que tornam o protótipo mais completo e funcional, além de promover o contato com o utilizador, conforme demonstra a Figura 53.

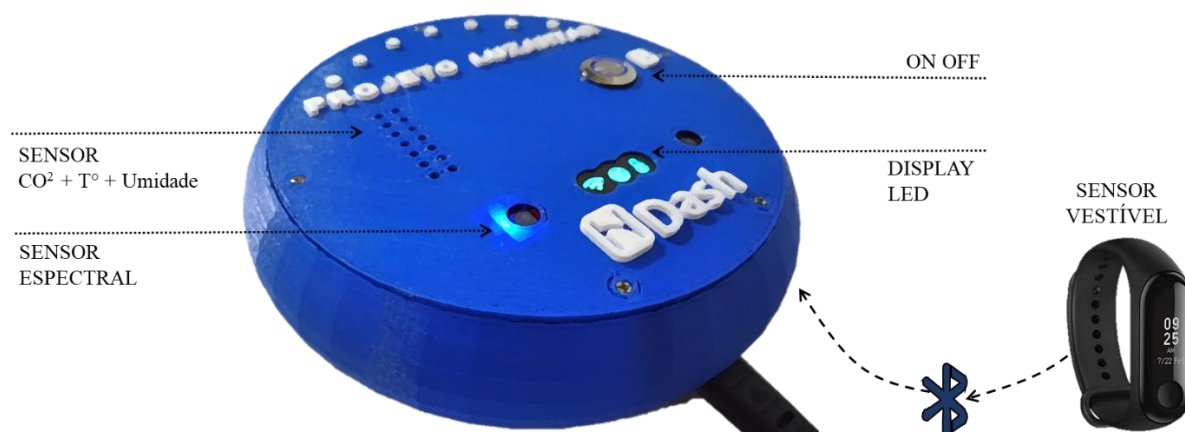


Figura 53 - Imagem ilustrativa do equipamento com localização dos sensores ambientais, da tela OLED, botão liga e desliga, e sensor humano externo, com a comunicação esquemática bluetooth.

Colocando lado a lado as versões 2.0 e 2.1, as mesmas diferem externamente apenas em cor de impressão (Figura 54), porém, essa pequena diferença interfere na transparência da caixa e acabamentos de impressão. Internamente, essas duas versões possuem sensores espectrais diferentes, conforme especificado no Capítulo 3, Materiais e Métodos.

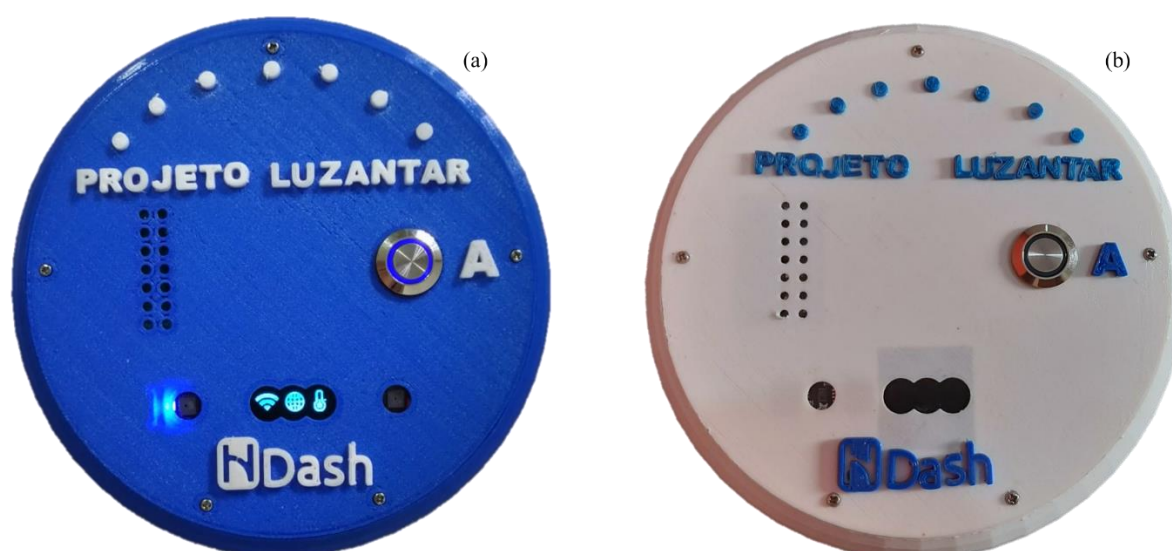


Figura 54 – Imagem externa dos Gateways das versões finais 2.0 e 2.1.



A comunicação entre o Gateway e as pulseiras inteligentes, foi feita por meio de Bluetooth. Essa possibilidade flexibiliza o acesso de novos voluntários e, consequentemente, de novos sensores, que podem localizar-se externamente ao Gateway, enviando seus dados por esse meio de comunicação.

Nos Apêndices, estão organizados, em um relatório fotográfico, imagens que ilustram o processo de construção do Gateway, com a equipe envolvida, em todas as fases de produção.

4.2 Tratamento dos Dados Coletados

A coleta das informações medidas, ambientais e humanas, no período do projeto, somando os dois estudos de caso dos subprojetos LUZANTAR e LUZEAMES, resultou em um volume total em torno de 33,2 milhões de dados, cujo quantitativo auxilia na confiabilidade da análise e elaboração das conclusões.

Ocorreram algumas modificações no decorrer do projeto que influenciaram a coleta de dados humanos. No processo de coleta, foi possível apenas captar dados dos Grupos Base de 2020 e 2021. No primeiro ano, foram recrutados quatro voluntários, e no segundo seis voluntários. Dentre as razões da ausência de dados em alguns períodos estão a falha do próprio equipamento e a desistência de alguns voluntários. Logo, entende-se que o número da população medida é pequeno, contudo, o método é válido e considera-se que os resultados demonstram que o processo de coleta funciona e apresenta evidências e padrões de comportamento.

O quantitativo de dados úteis coletados segue apresentado na Tabela 13.



Tabela 13 - Quantitativo de dados coletados na EACF e utilizados na elaboração da análise e descrição dos resultados.

EACF - Dados espectrais - primeira coleta												
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
node A	0	22252	18166	40297	44630	10759	11042	43135	7256	22036	10782	3168
node B	0	19375	7851	21032	6710	69	0	0	0	0	38	17120
node C	0	22220	54019	115512	40555	0	0	0	0	0	0	37484
EACF - Dados espectrais - segunda coleta												
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
node A	35	786	10	22	8028	8467	0	1166	15080	8599	1	0
node B	15058	10211	11861	6844	686	0	0	50175	85735	82313	2009	0
node C	46679	54539	66964	48145	54856	4222	145	1	11604	0	0	0
EACF - Dados humanos - primeira coleta												
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
voluntário 01	0	0	4321	1441	0	1441	0	0	24481	24440	27980	12361
voluntário 02	0	0	3754	0	0	0	0	0	20692	2880	27938	15429
voluntário 03	0	0	4320	2881	0	0	0	0	21600	4320	12288	11520
voluntário 04	5063	0	2880	0	0	0	0	0	0	0	4022	44640
EACF - Dados humanos - segunda coleta												
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
voluntário 05	0	6915	14297	80058	66987	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 06	0	0	15433	84898	83083	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 07	0	6237	41774	88217	150445	158513	135575	100393	128089	137382	109004	7591
voluntário 08	0	3744	19051	80835	131794	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 09	0	0	4636	78006	129716	122109	0	0	0	0	0	0
voluntário 10	0	0	15188	87321	146575	17360	123	11	0	0	0	0

No estudo de caso da EAMES o processo de coleta durou de outubro 2021 a novembro de 2022, completando um ano de medidas as quais puderam caracterizar um comportamento da iluminância dos ambientes medidos, e respostas humanas reportadas em um ciclo completo.

O número da população de participantes, neste caso, aumentou, contudo, o engajamento dos voluntários variou muito, e aconteceram meses com maior ou menor comprometimento. Por se tratar de uma escola, alguns oficiais foram transferidos no meio do processo e outros novos entraram. Também houve, da mesma forma que ocorreu na Antártica, desistência dos voluntários, e aspectos adicionais de interferência comum nos meios urbanos, tais como férias, licença maternidade, entre outros. Neste ambiente menos agressivo, ocorreram muitos problemas de mau funcionamento das próprias pulseiras, devido ao fato das mesmas estarem desatualizadas e com a tecnologia atrasada.

Na Tabela 14, seguem listados os dados espectrais e humanos do subprojeto LUZEAMES, onde é possível observar que os voluntários iniciaram a pesquisa comprometidos e, com o passar do



tempo, foram abandonando as medições, conforme as razões descritas anteriormente. O trabalho com voluntários depende, diretamente, do engajamento dos mesmos na pesquisa, além disso, a rotina da vida urbana funciona como um elemento dissipador de foco e prioridades dos indivíduos. Portanto, durante o período de coleta, foi necessário realizar ajustes e, em várias situações, buscar novos voluntários.

Tabela 14 - Quantitativo de dados coletados na EAMES e utilizados na elaboração da análise e descrição dos resultados.

EAMES - Dados espectrais														
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out
eames_a	0	2864	141611	163957	47907	2345	8782	1378	169	1305	0	209521	274923	150267
eames_b	0	11820	101231	821195	585566	379077	142365	68977	7580	253	0	0	0	0
eames_c	0	0	9881	29522	50796	14190	24732	0	0	0	59947	293510	169976	91996
EAMES - Dados humanos														
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out
voluntário 01	8620	2528	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 02	26905	58323	123601	2023		0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 03	173375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 04	251951	45949	253289	160608	12024	481519	118371	16144	0	0	59148	228452	344413	22961
voluntário 05	247225	23735	179293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 06	119227	32617	34046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 07	245375	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 08	179618	17133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 09	9578	0	0	0	0	0	0	0	70	10666	99889	307993	199277	56437
voluntário 10	60663	104102	264589	196588	11209	45055	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 11	59781	18978	41991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 12	92275	10596	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168166	139276	0
voluntário 13	58389	0	31548	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 14	5575	36796	94400	0	0	0	0	0	0	0	0	2642	0	0
voluntário 15	271717		190149	0	0	0	0	38077	60539	1718	0	0	0	0
voluntário 16	46433	46369	22949	0	0	0	0	62953	0	0	95394	291861	383149	102808
voluntário 17	61881	71108	239722	133016	88216	74243	7795	4597	0	0	0	0	0	0
voluntário 18	60819	151729	15836	84429	0	469	0	20153	27410	0	111909	353658	0	0
voluntário 19	0	0	135903	60158	7398	2471	97001	0	0	0	132570	324497	390740	68466
voluntário 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
voluntário 21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37201	0	0
voluntário 22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155688	0	0
voluntário 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39494	424077	51898	0
voluntário 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111286	365474	0	0
voluntário 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36076	329521	0	0
voluntário 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	288783	309767	33090
voluntário 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	340247	275302	81673



4.2.1 Análise Transversal da Iluminância e Cosinor

Os diagramas apresentados nessa seção são o resultado da sobreposição das informações dos dados espectrais e dados humanos, tanto da EACF quanto da EAMES. Nesta sobreposição, optou-se por normalizar a iluminância melanópica com os valores em lux melanópico (EML) em duas curvas distintas: a primeira representada nos gráficos em linha azul, obtida dos equipamentos localizados internamente nos ambientes medidos, com a luz majoritariamente artificial e uma pequena parcela de contribuição da luz natural; e a segunda, separadamente, representada em linha na cor laranja, a iluminância média do equipamento voltado para o exterior. Ainda, no mesmo diagrama, foram inseridas as informações da Cosinor, com dados de ritmo, por estação do ano. A análise destes diagramas consiste em identificar informações pertinentes como acrófase, mesor, amplitude total, tempo de referência, horas de luz do dia, além dos picos de iluminância interno e externo.

Os diagramas apresentam dois eixos: o horizontal com as 24 horas do dia demarcadas; e o eixo vertical com a escala de normalização Cosinor de -1 a +1. Além disso, delimitou-se o tempo de referência (R) no “zero”, considerando o momento em que a Cosinor muda de atividade de sono para atividade de vigília. Esse tempo de referência demarca o limite da acrófase, delimitado no outro limite pelo pico de atividade. Outra demarcação evidenciada é a amplitude total (A), que é delimitada pelas distâncias entre o pico negativo e o pico positivo, e apresenta a variação das atividades. Em (M) estão as informações da mesor, e a seta indicada no diagrama, demonstra o deslocamento da mesma do ponto “zero”. Esse valor demarca o quanto ativo é o dia dos voluntários, em média, naquele período do ano. O diagrama é preenchido, ao fundo com um campo amarelo claro que representa a média na Estação das horas do dia com luz natural medida. Ainda sobre os dados de iluminância, o diagrama apresenta os picos de iluminância no ambiente interno, em azul, e do ambiente externo, em laranja. O comportamento ao longo do dia, destas duas iluminâncias, estão no gráfico com as mesmas cores descritas.

VERÃO

O Diagrama de verão com os dados Cosinor e lux EML da EACF está representado na Figura 55(a). Suas informações apresentam o grande número de horas da luz natural (cerca de 19h), e os momentos que a mesma está mais intensa, próximo de 1424 EML, de 8h às 18h, o que evidencia a ideia de luz ofuscante, principalmente se comparado às normativas vigentes. Outro



ponto a ser destacado no diagrama é o pico da luz no ambiente interno em 224 EML por volta das 10h, sendo que esse pico se justifica pela entrada de luz natural direta no ambiente, visto a janela estar voltada para Leste. A acrófase acontece por volta de 8:30h após o ponto de referência. A amplitude total tem uma variância acentuada, e a linha da mesor está deslocada para cima do gráfico, o que significa uma média alta de intensidade de atividades do grupo medido.

Comentando a correlação da luz com a Cosinor, observa-se no gráfico da Figura 55 que o pico da iluminância interna está por volta de 9h, atingindo valores de 224 lux, e ocasionando a acrófase minutos após as 14h. Observando, com detalhes, esses dois valores, é possível identificar um padrão de ocorrência e resposta, o qual será abordado posteriormente adicionando a informação medida da temperatura de cor destes períodos do dia, sobrepostos com a mesma Cosinor.

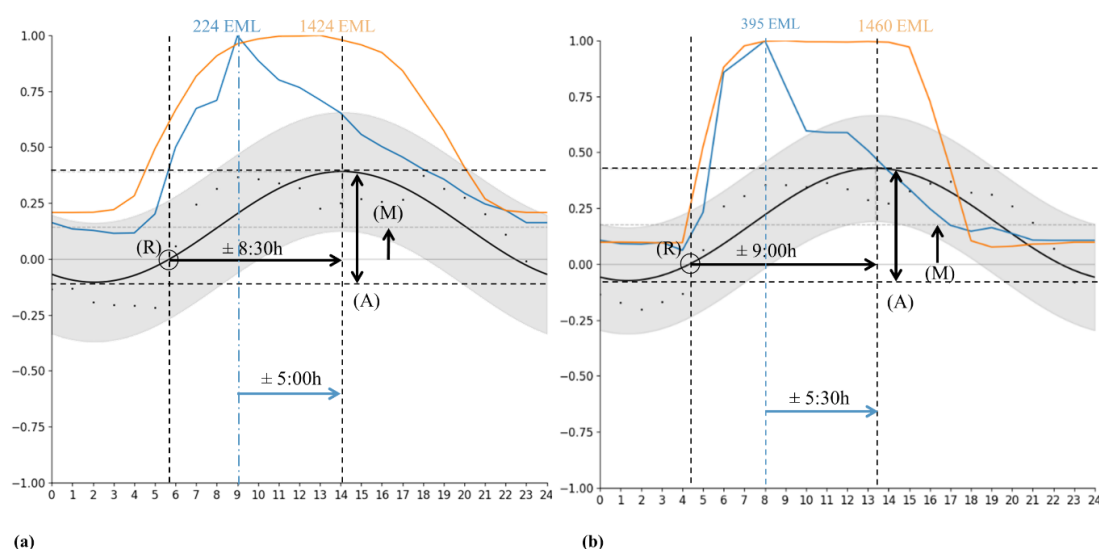


Figura 55 – Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de verão. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados.

O perfil de iluminância melanópica e dos voluntários da EAMES, Figura 55(b), expõe características próprias, devido ao posicionamento geográfico em zona tropical e aos hábitos urbanos dos voluntários, com atividades externas à base militar. O diagrama apresenta a análise de um período bem específico da rotina urbana, com eventos e feriados comemorativos (Natal, Ano Novo), geralmente férias escolares, entre outras rotinas da cidade, que torna o dia bem



ativo. O tempo de referência é um despertar por volta de 4:30h e a acrófase ocorre em aproximadamente 9h após essa demarcação.

Ainda na mesma figura, a amplitude e a mesor apontam muitas atividades diurnas com alta intensidade, apesar de ser um período atípico em relação às atividades e rotina urbana, os dados demonstram que a luz também se apresenta com grande intensidade: com valores bem altos de iluminância externa e longo período de exposição do Sol na abóbada celeste.

Apesar da grande faixa de luz diurna externa e a intensidade da mesma, o ambiente interno não apresenta alta iluminância e tem um pico de luz entre 8h e 9h, com valores médios de 395 lux, provavelmente influenciado pela iluminação natural da janela. A acrófase tem uma resposta de pico máximo em torno de 13:20h, observando-se que esse valor se manteve no verão, outono e inverno, conforme apresentado na Figura 43.

Pode-se afirmar que, ao considerar transversalmente os dois estudos de caso, o verão é caracterizado por um período com grande exposição à luz natural em ambas as situações, resultando em altos níveis de atividade diurna, embora os picos de sono não sejam tão proeminentes.

OUTONO

Na Figura 56(a), o diagrama representa a estação do outono na EACF, e pode-se visualizar que o tempo de luz do dia disponível já é diferente do verão, apesar de não apresentarem valores médios sem luz em nenhum momento, os picos de iluminância possuem intensidade mais baixa. Embora estas mudanças sejam significativas no comportamento lumínico, o ponto de referência e a acrófase permanecem com correlações, muito similares ao período de verão. O pico de iluminância (linha azul) dentro do ambiente interno ocorre por volta das 10h, com um atraso de 1 hora em relação ao verão, e valor máximo medido de 38 lux, observando-se que a acrófase atrasou algumas dezenas de minutos. O atraso do pico de iluminância no período matutino e o atraso da acrófase denotam a possibilidade de que a luz que o utilizador se expõe pela manhã influencia no momento de maior intensidade da atividade.

Destaca-se, ainda, que alguns parâmetros do Cosinor, como a amplitude total, que foi um pouco reduzida, com o pico negativo, quase inexpressivo, se aproximando mais do ponto “zero” do



gráfico, e mantendo o pico positivo muito parecido com as atividades do verão, evidenciando um sono sem valores do tipo sono profundo.

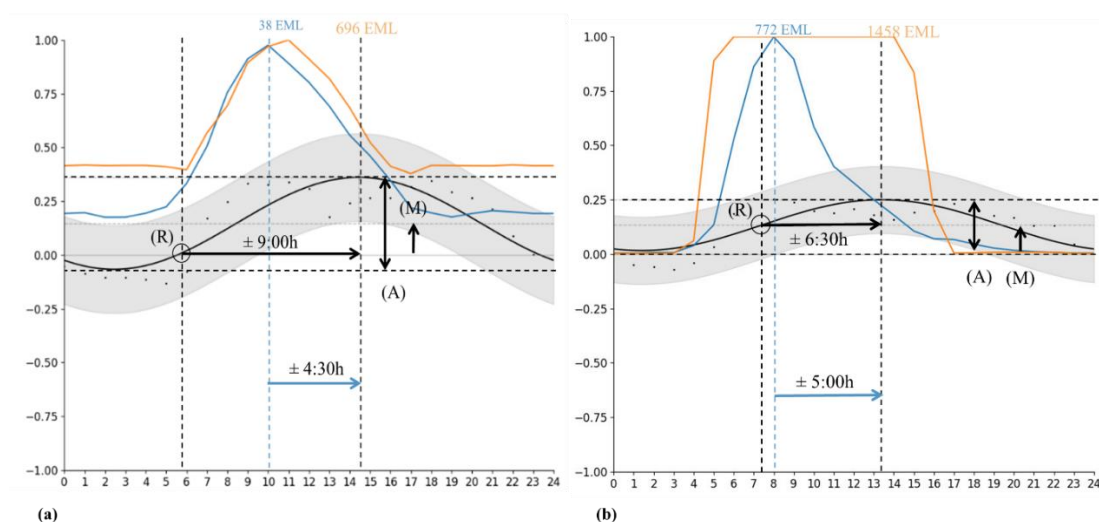


Figura 56 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de outono. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no eixo vertical os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e, em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados.

A Figura 56 (b) apresenta o diagrama de outono da EAMES. Esse gráfico é importante e representativo, uma vez que a EAMES é uma Escola de marinheiros e as atividades anuais geralmente iniciam em março, um pouco antes da chegada do outono. Nota-se que, neste diagrama, tanto o ponto de referência como a amplitude total mudaram muito. O tempo de referência deslocou para o despertar às 7:30h, com um atraso de 3h em relação ao verão. Vale destacar que nesse ano não foi instituído o horário de verão, logo, o Sol realmente nascia mais cedo no verão. Além disso, houve uma considerável redução tanto na amplitude total, quanto na mesor dos utilizadores, conotando, não somente um nível de atividade bem menor, comparado ao verão, mas também um sono bem menos expressivo, com seu pico inclusive acima do “zero” do gráfico.

Ainda na Figura 56 (b), os níveis lumínicos medidos no ambiente interno aumentaram e o pico continuou no início da manhã, provavelmente na entrada de luz natural na janela. Conforme já visto no panorama das Cosinores, houve alguns problemas técnicos neste período do outono, prejudicando o quantitativo de dados medidos.

A acrófase também sofreu um ajuste e passou para 6:30h após o ponto de referência, o que demonstra que mesmo com o sono prejudicado e o baixo nível de atividade, provavelmente



relativo ao período mal dormido, houve esse “arrastamento” do pico da acrófase, caracterizando uma evidência de adaptação do ser humano, ao próprio horário de despertar do organismo. Já na correlação com pico de iluminância matinal, a acrófase manteve sempre o mesmo horário de 13:20h, como no verão.

Ao observar os dois estudos de caso de maneira comparativa, é possível constatar que o outono funciona como um período de transição, reduzindo a intensidade e impactando na qualidade do sono após o verão. Os dados coletados revelaram baixa amplitude durante o sono, e há evidências de que no estudo realizado em clima tropical, as atividades diárias, o início das aulas e a adaptação dos voluntários ainda exercem influência sobre os resultados obtidos.

INVERNO

O inverno na Antártica caracteriza-se por suas peculiaridades climáticas, a Figura 57(a) apresenta o diagrama deste período e o comportamento da luz e do ser humano. Nota-se, a princípio, que a iluminância externa é a média das medidas de 3 meses e, geometricamente, o percurso do Sol na abóboda celeste é muito diferenciado nesse período. Assim, essa medida de luz externa pode estar sofrendo a influência do acendimento de uma iluminação de fachada, já que se sabe que o Sol, no solstício do inverno aparece no céu por volta das 10h e se põe às 14h, com uma altitude de, no máximo, 5° no domo celeste. Logo, esse tempo de luz total não reproduz a realidade da luz natural, no período considerado.

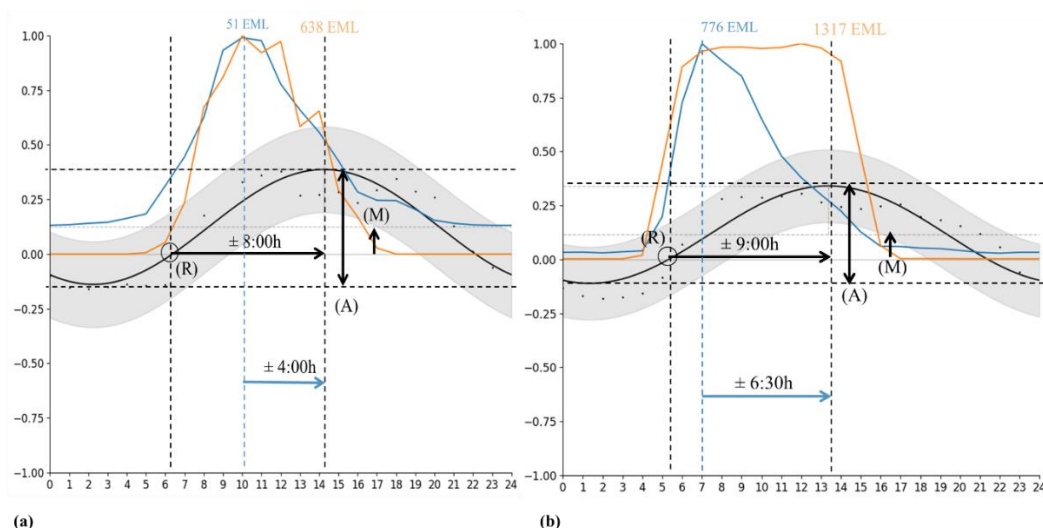


Figura 57 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de inverno. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a



iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados.

Assim como no outono, o pico de iluminância interna acontece às 10h, com valores de pico na média de 51 lux. A acrófase segue a linha de correlação com esse pico e também se mantém, na média, às 14:26h, como no outono.

Ainda na Figura 57, é evidente o aumento na amplitude total e o deslocamento de quase 1h na acrófase, em relação ao tempo de referência, o qual, por sua vez, sofreu um atraso de também quase 1h, demonstrando que as atividades se iniciam um pouco mais tarde no inverno. Esse atraso se justifica pelo fato de que as atividades dos utilizadores, no inverno, em geral, decaem bastante e isso pode ser observado com maior clareza na Figura 41(b), com o ajuste da mesor.

O diagrama de inverno da EAMES, Figura 57(b), apresenta os dados com muitos problemas técnicos resolvidos e com um volume maior de participantes (n). Os gateways registraram o tempo de acesso à luz natural em torno de 13h em média, sendo que o tempo de referência foi regulado para 5:30h da manhã, e a acrófase permaneceu no horário de 13:20h, ajustando para 9h de deslocamento do ponto de referência, como no período do verão.

O nível de iluminância no ambiente interno se manteve por volta dos 776 lux e ajustou-se para um pouco mais cedo, às 7h, sem interferir no horário da acrófase, às 13:20h. Nesse gráfico, os dados também indicam o aumento da amplitude, evidenciando maior intensidade nos dados do sono.

Observando os diagramas em ambos estudos de caso, é possível notar uma maior expressividade dos dados medidos de sono no período do inverno. Nesse contexto, pode-se inferir que a redução da luz excessiva e da alta intensidade do verão permitem que o usuário do ambiente possa ajustar seu relógio biológico, o que resulta em uma melhora na qualidade do sono e na manutenção das atividades diurnas.

PRIMAVERA

Seguindo o ritmo geométrico do ano, na primavera, o acesso à luz do dia e o período de luz disponível volta a ter semelhança com o período de verão, conforme pode ser visto na Figura 58. A iluminância melanópica externa gira em torno de 1450 EML, durante boa parte do dia, tanto na Antártica quanto na EAMES, e no ambiente interno, a iluminância do ambiente volta a ter um pico de entrada de luz com valores mais altos na Antártica Figura 58(a) 160 lux,



ocorrendo ainda por volta das 9h, observando que o período de luz externa medida volta a ser ininterrupta, aproximando-se das medidas características do verão. Por outro lado, a acrófase sofreu um atraso de quase 30 minutos neste período.

Na Antártica, observa-se um deslocamento de 1h no horário do tempo de referência, e também uma queda na mesor (conforme Figura 41b), e esses ajustes da Cosinor aparentam representar o grupo de indivíduos se adaptando ao novo acesso à luz natural e aos dias longos.

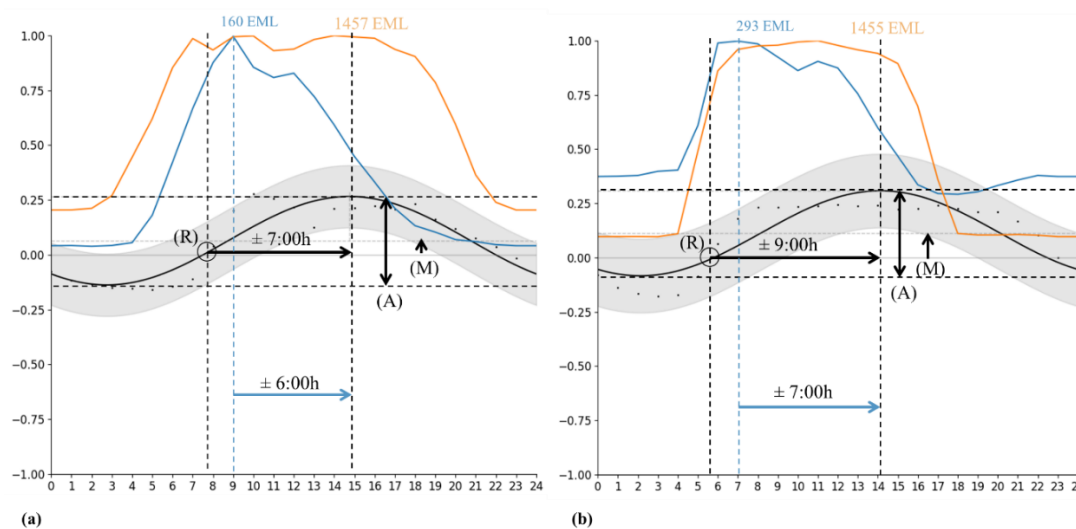


Figura 58 - Diagrama com as informações de iluminância melanópica e Cosinor sobrepostos para os dados obtidos na EACF (a) e EAMES (b), referente ao período de primavera. No eixo horizontal, estão representadas as horas do dia e no vertical, os dados normalizados. A curva em azul representa a iluminância interna, e em laranja, a iluminância externa, com os valores máximos identificados. (R) é o ponto de referência, (A) a amplitude e (M) a mesor. A curva em preto é a Cosinor com os dados medidos (pontos representativos na faixa cinza) ajustados.

Na Figura 58(b) da EAMES, durante a primavera, é possível constatar que a luz natural permanece por mais tempo na abóbada celeste, o que é confirmado pelos dados medidos. A acrófase apresenta uma média de 9h em relação ao ponto de referência, e o despertar permanece na rotina do inverno. No entanto, percebe-se que o pico de iluminância se mantém no mesmo horário, enquanto o atraso da acrófase é deslocado em torno de 1 hora, ajustando-se para às 14:17h.

Ainda sobre a Figura 58(b), é possível afirmar que houve uma leve redução de atividades, o que pode ser observado no decaimento da mesor, na Figura 43. Os níveis lumínicos do ambiente interno estão bem mais baixos com 293 EML comparados com os 776 EML do período do inverno.



O panorama dos dados, normalizados e apresentados de forma concomitante demonstra que é possível sobrepor estas informações diversas (iluminância e dados de atividade) e encontrar pontos de semelhanças e diferenças entre os hábitos humanos de cada período do ano e sua relação com a luz de um ambiente de uso contínuo desse grupo.

Obviamente, as demandas de uso de outro espaço, no dia a dia dos voluntários é muito maior no caso da EAMES, os quais não habitam ininterruptamente a edificação analisada e possuem seus próprios espaços de estar diversos nas suas residências. O grupo analisado na EACF certamente possui o mesmo tipo de influência lumínica artificial noturna, pois são confinados na Estação como única opção de estar e viver durante aquele ano medido. E, por se tratar de um local planejado, o mesmo tipo de iluminação artificial que existe na sala de estar atende também os camarotes, seguindo, desta forma, um padrão de eficiência e influência.

4.2.2 Análise Transversal das Informações Espectrais e Cosinor

Os diagramas individuais apresentados nos testes dos métodos, foram reorganizados para uma análise transversal anual entre as estações do ano e os estudos de caso do subprojeto LUZANTAR e o subprojeto LUZEAMES.

O balanço espectral das diferentes localidades geográficas, em geral, não difere de forma significativa. Contudo, existem algumas alterações referentes ao tempo de permanência do Sol, na abóbada celeste e, em pontos percentuais, observa-se que a luz, na EACF tem um pequeno percentual maior de luz azul, comparado com a luz medida na EAMES. É importante ainda ressaltar que na Estação Antártica, o sensor espectral está posicionado atrás de dois vidros de proteção térmica no ambiente de medida, o que pode significar uma interferência nos dados medidos, o que não ocorre com a EAMES.

Os diagramas de Porcentagem Espectral apresentado na Figura 59 (a) demonstra o panorama anual do balanço espectral em termos quantitativos ao longo do dia, isto é, qual é a parcela de contribuição de cada comprimento de onda medido na composição do raio luminoso. Esses dois grupos de diagramas apresentados representam as medidas feitas nos Gateways instalados voltados para a luz exterior, logo com uma parcela significativa de luz natural.

Observa-se nos diagramas representado um padrão de comportamento da distribuição espectral, na média de cada estação do ano na EACF. Durante o período noturno, é notável a maior



presença de comprimentos de onda maiores (vermelhos) nos diagramas. Por outro lado, durante o período diurno, há uma suave curva ajustando a composição do espectro para comprimentos de onda menores, consequentemente, reduzindo a intensidade dos tons mais avermelhados. Esse balanço espectral ocorre em ambos estudos de caso (a) e (b).

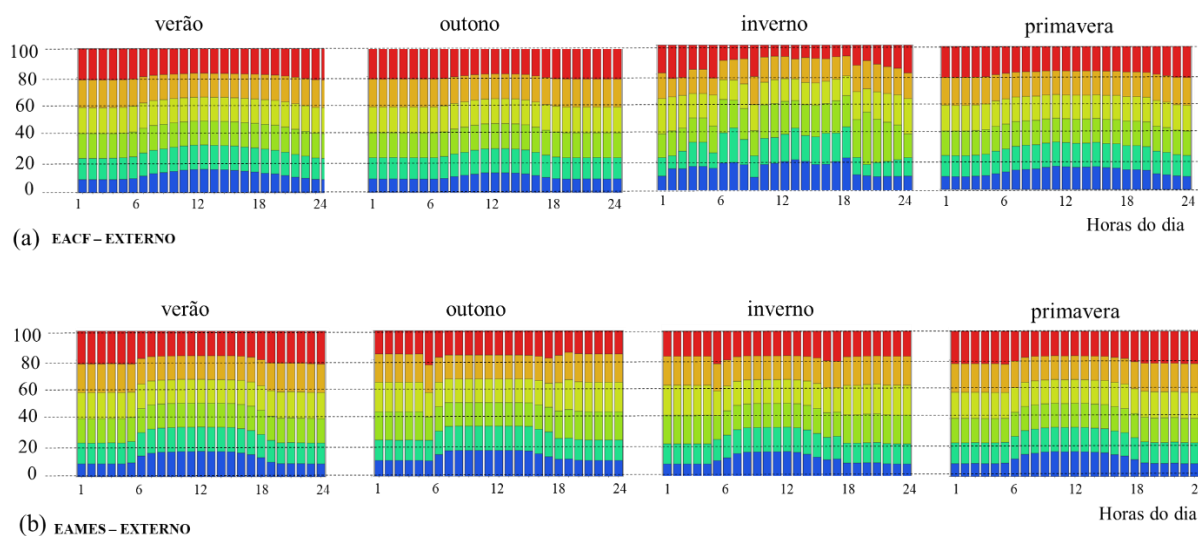


Figura 59 - Diagramas de Porcentagem Espectral EACF (a) e EAMES (b).

Em todos os diagramas, o percentual de luz azul ciano ultrapassa a linha de 20% nas medidas, principalmente no período diurno. No período noturno esse fenômeno também ocorre, em menor percentual. Ao contrário do verão, em que os diagramas nos dois estudos de caso são bem similares, no outono, os dados da EAMES apresentam, no período do dia, um aumento da luz azul, comparado com as medidas na Antártica. Já no inverno a Estação Antártica apresenta um gráfico um pouco menos homogêneo, provavelmente, pela ausência de luz na abóboda celeste, e a incidência de luz artificial na fachada. Observa-se, na Figura 60, que existem imagens da Estação sendo iluminada por fontes de cores monocromáticas decorativas, o que pode estar interferindo na precisão dos dados medidos.

Na primavera, em ambos estudos de caso, os resultados são bem semelhantes, evidenciando apenas, segundo também ocorre no verão, que existe um período maior da presença do Sol na abóboda celeste na Antártica.



Figura 60 - Imagem feita da varanda da EACF destacando os projetores de fachada com luz colorida monocromática. Ao fundo a Lua nascendo. Foto: Dra. Nicole Pimentel, Grupo Base 2020-2021.

Conforme pode ser revisitado nos testes do método, com os diagramas completos dos dois estudos de caso, com a luz medida em percentuais interna e externamente (Figura 38 e Figura 39), é evidente que a luz interna não oferece uma flutuação espectral ao longo do dia, e portanto, não proporciona parcelas de luz com composições espectrais diferenciadas, necessárias ao ritmo fisiológico. Logo, a importância do acesso à luz natural com constância, e principalmente em alguns momentos específicos do dia, torna-se primordial para a manutenção da saúde humana.

Esses resultados indicam que a posição geográfica no planeta e, conseqüentemente, a oferta de iluminação natural, não parece causar grandes alterações na composição espectral. Entretanto, durante o movimento de rotação da Terra, ou seja, ao longo das 24 horas do dia, há uma alteração nas proporções entre os diferentes comprimentos de onda. Durante o período noturno, há uma constância espectral, contudo, conforme o Sol surge no horizonte, e com o passar das horas, ele atinge seu ponto mais alto no zênite, ao meio-dia, a luz ganha uma contribuição maior



na sua composição com os comprimentos de onda menores, apresentando nas medidas uma parcela evidente da luz azul.

Nos mesmos dados medidos, pode-se também observar que essas nuances espectrais, quando analisadas na sua integridade da luz branca e ressaltado o aspecto da Temperatura da Cor, apresentam outras informações que podem influenciar a percepção humana sobre a luz e, conseqüentemente, ter alguma relação como o próprio comportamento na rotina do usuário desses espaços medidos.

Na análise realizada através dos diagramas da Cosinor, os períodos foram divididos em quatro categorias distintas, sendo que o período da manhã compreende o intervalo de tempo entre 6h e 10h, o meio-dia, entre 10 e 16h, o entardecer, entre 16 e 19h e o período da noite, entre 19 e 6h da manhã. É possível fazer uma interseção entre as informações dos registros de Temperatura de Cor Correlata da luz na Antártica e na EAMES com o comportamento anual da Cosinor. Além das características quantitativas, a análise permite identificar as variações sazonais e diárias do espectro de luz, possibilitando uma compreensão mais completa da dinâmica dos processos envolvidos.

Na Figura 61, pode-se visualizar dois conjuntos de diagramas com resultados da EACF: a Cosinor anual, e a Temperatura de Cor Correlata anual, ambas divididas em quatro gráficos: verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d). Observa-se nos gráficos da Cosinor o ajuste da acrófase, demarcada com a seta vertical, em um pequeno arrastamento, em direção ao período do entardecer.

Observando o período da manhã (marcador circular) nos gráficos de temperatura de cor, nota-se que no outono (b), o marcador circular se destaca, com medidas em tons mais avermelhados, com a resposta do arrastamento da acrófase, e novamente, na primavera (c), com a mesma resposta de deslocamento.

Observando os resultados medidos das Temperaturas de Cor da luz, nos diferentes períodos do dia, percebe-se que os marcadores quadrados, estão sempre posicionados mais a direita do diagrama em torno dos 4000 K. Ainda é visível que os horários de meio-dia e entardecer, representados respectivamente com marcadores tipo sinal de adição e triângulo, estão ao longo de todo ano agrupados com medições muito similares e mais “frias”, acima de 5000 K.



Vale ressaltar que nos períodos de outono e primavera (b) e (c), o marcador circular se destaca com um deslocamento para uma Temperatura de Cor mais quente, o que foi ressaltado na própria Figura 61, com uma faixa amarela, no diagrama da Cosinor. Esses dois momentos do ano, que oferecem uma iluminação mais quente nas horas iniciais da manhã podem estar envolvidos com os ajustes da própria amplitude dos diagramas Cosinor. Numericamente, já foi ressaltado esse ajuste (Figura 41) onde também pode-se visualizar em valores exatos o visível decaimento da mesor dos dados dos voluntários, ao longo do ano, na estadia antártica, denotando menor intensidade nas atividades diurnas.

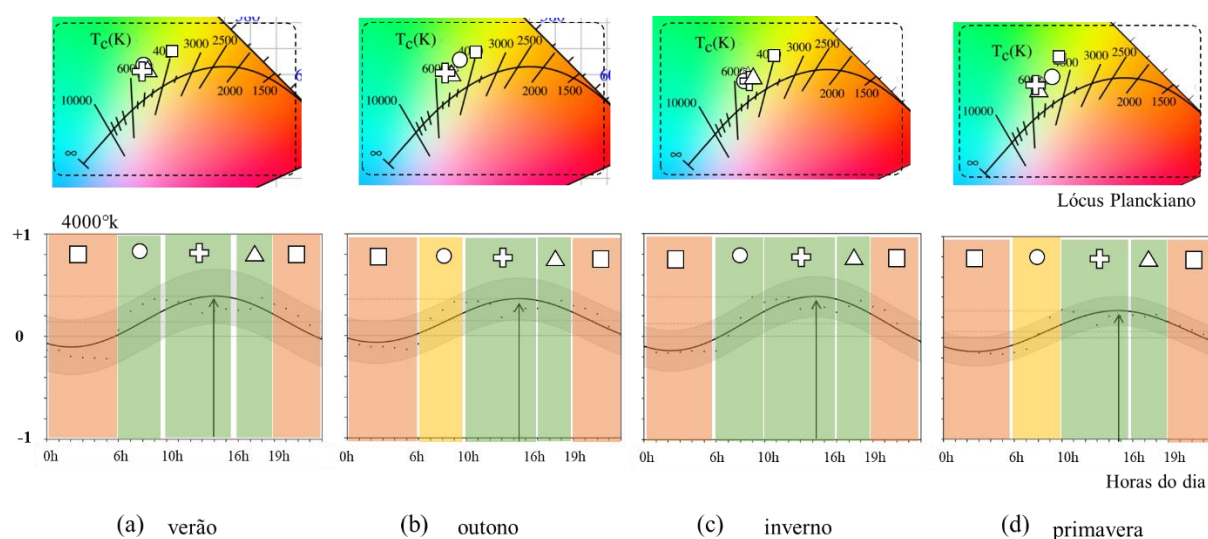


Figura 61 - Gráficos da EACF com os dados de Balanço Espectral, Temperatura de Cor Correlata e Cosinor divididos em (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Nos diagramas da Cosinor os períodos analisados foram divididos em manhã (de 6 às 10h, marcador circular), meio-dia (de 10h às 16h, marcador em formato de sinal de adição), entardecer (de 16h às 19h, marcador triângulo), e noite (de 19h às 6h, marcador quadrado).

Na Figura 62 pode-se observar essas variações de forma mais precisa: enquanto o verão e inverno (a) e (c), mantém a Temperatura de Cor durante todo o dia sem muitas variações, demonstrando a alteração apenas durante a noite; o outono e a primavera (b) e (d), evidenciam uma suave curva, como valores de temperatura mais altos no meio-dia e entardecer.

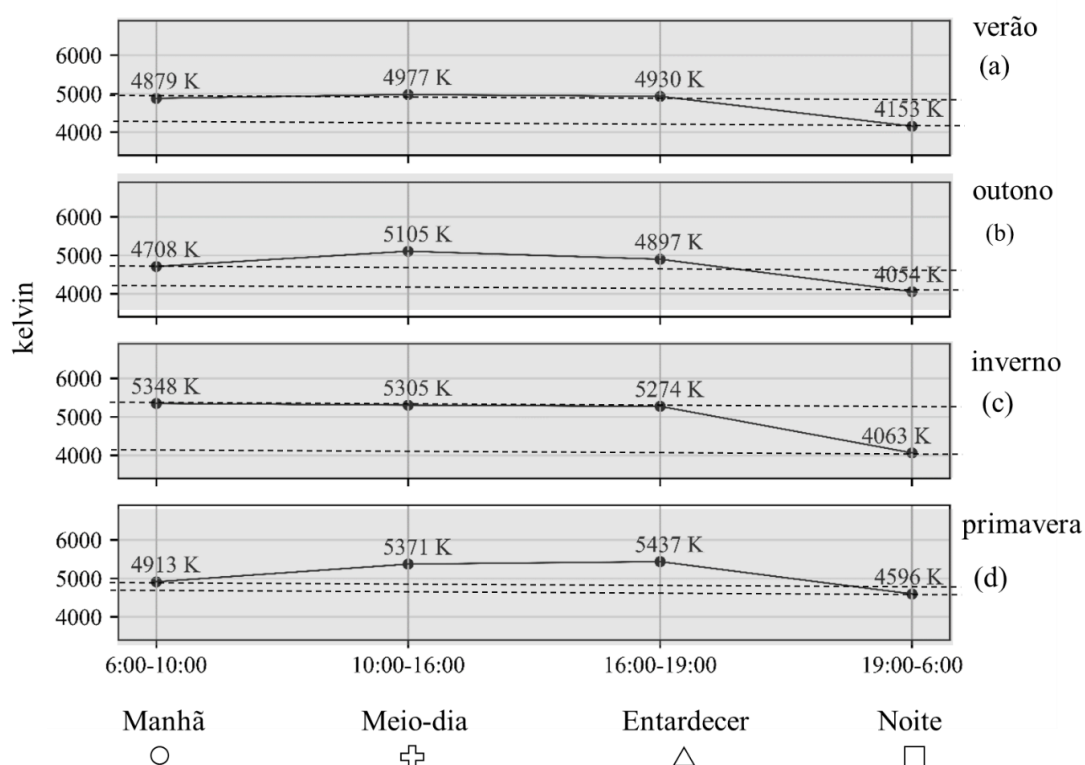


Figura 62 - Diagramas com os dados médios da Temperatura de Cor Correlata da EACF nas quatro estações: verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).

O mesmo conjunto de diagramas, com Temperatura de Cor Correlata e Cosinor foram feitos para o estudo de caso da Escola de marinheiros EAMES.

No caso da EAMES, na Figura 63, nota-se o mesmo tipo de comportamento da acrófase ao longo do ano, com um leve deslocamento do pico da intensidade de atividades para mais tarde. Ainda na mesma forma que ocorre na Antártica, a luz do período da noite apresenta medições em temperatura de cor mais quente. A luz do entardecer destaca-se, de uma forma diferente da Antártica, sendo que esse período do dia apresenta características espectrais próprias, aproximando-se às tonalidades da luz do período da noite, com tons mais avermelhados, principalmente no inverno. Já os períodos da manhã e de meio-dia, os valores são, concomitantemente, próximo dos 6000 K, por todo ano. As respostas humanas para essa variação evidenciam um ajuste da acrófase apenas na primavera, mas também demonstram uma flutuação da amplitude da curva cosseno nas estações do ano.

Numericamente esses valores podem ser confirmados na Figura 43, onde pode-se observar que, como ocorre na Antártica, a mesor vai diminuindo, no panorama anual.

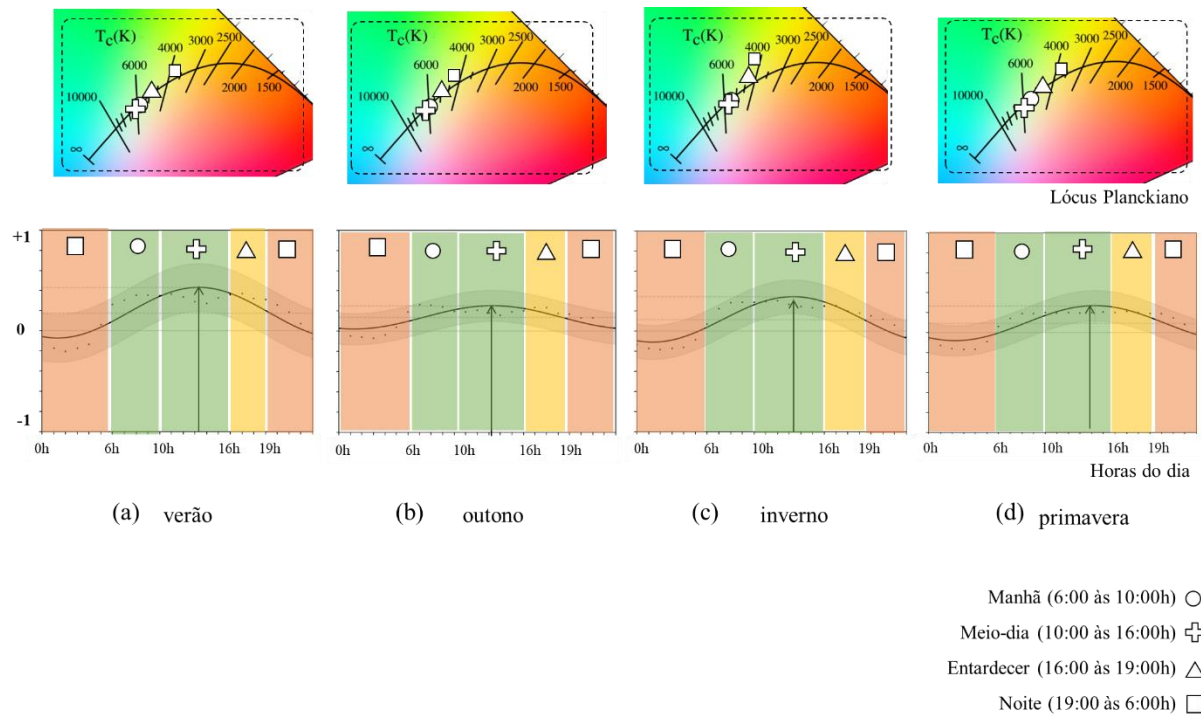


Figura 63 - Gráficos da EAMES com os dados de temperatura de cor correlata e Cosinor divididos em (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Nos diagramas da Cosinor os períodos analisados foram divididos em manhã (de 6 às 10h, marcador circular), meio-dia (de 10h às 16h, marcador em formato de sinal de adição), entardecer (de 16h às 19h, marcador triângulo), e noite (de 19h às 6h, marcador quadrado).

Assim como no diagrama da Antártica, pode-se ver na Figura 64, esses resultados com maior precisão. E que as diferenças em Temperatura de Cor entre as estações do ano em zona tropical não apresentam muitas variações.

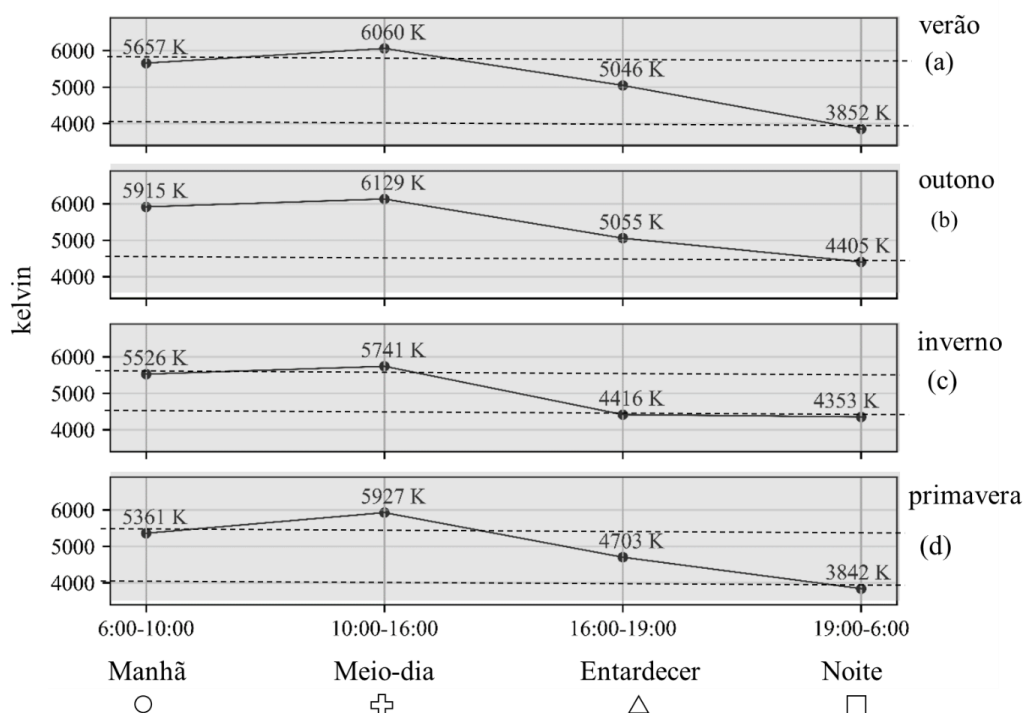


Figura 64 - Diagramas com os dados médios da Temperatura de Cor Correlata da EAMES, nas quatro estações: verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).

A metodologia utilizada, mesmo com um pequeno número de participantes, pode ser aplicada para uma população maior, com a incorporação de métricas adicionais para caracterizar a qualidade de vida. Além disso, ao final do projeto, o protótipo criado – o Gateway – apresentou um grande potencial, pois permite medições que integram o ser humano e o espaço construído em análises concomitantes, o que além de viável, é inovador enquanto estratégia para estudos que promovam a melhoria na qualidade de vida. Neste estudo, priorizou-se resgatar a importância da luz natural no ambiente construído, incluindo-a nas observações e dados comparativos, sobrepondo esse contato com as atividades humanas.

Durante o verão, em ambos os estudos de caso, os voluntários apresentam maior atividade, com valores elevados de amplitude na Cosinor. As exceções ocorrem quando atividades e mudanças na rotina priorizam uma nova organização dos hábitos, evidenciada pelo atraso da acrófase na primavera para o grupo antártico, pouco antes do retorno ao Brasil. Já para o grupo da EAMES, ocorre uma queda acentuada da amplitude durante o início do ano letivo e a adaptação ao novo grupo de alunos.

Nota-se, nos dados humanos apresentados, que foi possível estabelecer linhas de semelhança entre as diferentes estações do ano, em ponto de referência, acrófase, amplitude e, quando houve



alguma interrupção do fluxo do ritmo do grupo medido, os casos se justificavam pelos eventos sociais e comunitários.

No caso da EACF, os valores da amplitude (Figura 41), medidos no verão, resultaram em torno de 24 pontos normalizados, e teve uma queda, no outono, para 21 pontos, sendo que no inverno houve um aumento para 26 pontos e na primavera outra queda para 20 pontos, em média. Como a amplitude representa a intensidade de atividades do grupo medido, essas variações podem estar correlacionadas com a luz, pois no inverno o alto valor denota um sono com maior qualidade.

Observando os valores da mesor deste mesmo grupo antártico, ficou evidente uma queda constante no ajuste do ritmo circadiano, observando-se que a diferença medida entre o verão ficou em torno de 14 pontos normalizados e para a primavera com apenas 6 pontos, o que denota que o grupo foi gradualmente reduzindo a intensidade das atividades ao longo do tempo. E essa queda influenciou a acrófase (o ponto máximo de atividade) com um deslocamento ou arrastamento de cerca de 40 minutos em relação ao período de verão.

Esse mesmo comportamento foi observado no grupo da EAMES (Figura 43), ou seja, a amplitude variando a cada estação, com o maior valor medido no verão, com 25 pontos normalizados, e no inverno, com 22 pontos. A mesor, a linha que representa o nível médio da variável ao longo de um ciclo circadiano completo desses voluntários, também apresentou uma queda de 19 pontos para 9, e esses resultados podem ser considerados uma resposta importante para avaliar as alterações no ritmo biológico. Da mesma forma houve um arrastamento evidente na primavera com o pico de intensidade das atividades aumentando em quase 1 hora.

Assim, no contexto deste estudo, mesmo que todos os voluntários sejam pessoas treinadas e preparadas física e psicologicamente para suas atividades diárias, foi possível detectar os momentos de disfunção do ritmo circadiano e conectá-los a fatores sociais. Posteriormente, os ritmos se ajustaram e se encaixaram no movimento natural do planeta.

É possível afirmar que as evidências apresentadas neste estudo são preliminares e requerem investigações mais aprofundadas em áreas como medicina e comportamento humano. No entanto, a tecnologia se apresentou essencial para acompanhar e entender hábitos e respostas humanas, e o desenvolvimento do sistema de monitoramento permitiu testar essa possibilidade.



5 Conclusões

A construção de um equipamento de baixo custo para medição do espectro luminoso e do ritmo circadiano em diferentes ambientes foi viabilizada, permitindo a coleta de dados em estudos realizados em ambientes antárticos e urbanos tropicais. O protótipo desenvolvido, denominado Gateway, apresentou grande potencial para análises concomitantes do ser humano e do espaço construído, sendo inovador enquanto estratégia para estudos que promovam a melhoria na qualidade de vida.

Os resultados obtidos evidenciaram a resposta do ritmo circadiano frente ao espectro luminoso, bem como as interferências fisiológicas e psicológicas da luz no funcionamento do corpo humano. A metodologia utilizada pode ser aplicada em populações maiores, incorporando métricas adicionais para caracterizar a qualidade de vida.

Os dados apresentados permitiram estabelecer linhas de semelhança entre as diferentes estações do ano em relação ao ritmo circadiano, acrófase e amplitude. Foram observadas variações nas atividades dos grupos medidos em função da luz, destacando-se a influência da intensidade da luz sobre a qualidade do sono no inverno. Ficou evidente também uma queda constante no ajuste do ritmo circadiano ao longo do tempo, com arrastamento da acrófase em relação ao período de verão.

Diante do exposto e após a análise dos resultados obtidos pelo sistema de monitoramento desenvolvido, testado e aprimorado, é possível reiterar que a luz exerce influência sobre o ser humano. No entanto, é importante considerar que existem diversos outros fatores que impactam no bem-estar e na rotina do Homem. A detecção de ritmos é uma abordagem adequada para identificar, de forma não invasiva, quais desses fatores podem estar interferindo, seja na Antártica ou nos Trópicos. Isso se deve ao fato de que os padrões se repetem cotidianamente e as adaptações necessárias para a vida contínua ocorrem gradualmente, através das variações sazonais ou das exceções nas atividades sociais.

Para estudos futuros, sugere-se que o produto seja testado em outros contextos de isolamento, tais como plataformas petrolíferas, ou mesmo atividades vinculadas à mineração ou submarinos, em que os trabalhadores ficam privados da luz natural por longos períodos. Além desses locais o equipamento também poderia ser testado em ambientes escolares, ou qualquer



outro espaço em que seja interessante propor melhorias na iluminação e no bem-estar do usuário. Os resultados podem orientar a adoção de medidas de segurança, ou de melhoria na qualidade de vida e até mesmo na prevenção de situações de estresse ou risco. Além disso, outros sensores podem ser acoplados e incorporados para complementar as respostas humanas, sendo que a inteligência artificial pode ser utilizada como ferramenta no desenvolvimento dos equipamentos para minimizar preocupações com privacidade e controle inerentes ao monitoramento, como por exemplo a forma de processar os dados: utilizando algoritmos que são treinados para tratá-los. A integração de artifícios de lazer, como música e informações online no protótipo, também pode ser incorporada ao produto de maneira simples e sem a necessidade de recursos adicionais, proporcionando interação e maior engajamento humano com o sistema. Outra possibilidade a ser considerada, especialmente para áreas inóspitas ou de difícil logística de apoio, é oferecer o sistema com autonomia energética, com um sistema de baterias acoplado, tornando-o ainda mais adequado para esse tipo de uso.

Este trabalho comprovou, também, a importância da interdisciplinaridade para a busca de soluções para problemas complexos. A tecnologia foi utilizada como uma ferramenta para conectar diferentes áreas do conhecimento, como a medicina, a engenharia, a informática, a arquitetura e a sociologia. O trabalho propôs um caminho para a busca de soluções futuras, como o desenvolvimento de novos equipamentos e sensores para monitoramento e prevenção de problemas de saúde, bem-estar e segurança em ambientes isolados. Além disso, resgatou-se a importância de rotinas simples, como acompanhar o nascer e pôr do sol e dormir sem interferências, que podem contribuir para uma melhoria significativa na qualidade de vida das pessoas. A tecnologia, quando utilizada de forma consciente e integrada com outras áreas do conhecimento, pode abrir novas possibilidades e trazer soluções inovadoras para problemas antigos.

Este estudo reforça a importância da luz natural no ambiente construído, e sugere a inclusão dessa variável em estudos que promovam a melhoria na qualidade de vida, levando em consideração as atividades humanas. O Gateway, desenvolvido neste trabalho, apresenta-se como uma ferramenta para coleta de dados que possibilitem análises concomitantes do ser humano e do espaço construído em estudos futuros.



Referências Bibliográficas

- [1] J. Arendt, “Biological rhythms during residence in polar regions,” *Chronobiology International*, vol. 29, no. 4, pp. 379–394, May 2012, doi: 10.3109/07420528.2012.668997.
- [2] C. Bolssoni, A. C. Laranja, C. E. Alvarez, D. A. M. Pawelski, and M. S. Tomé, “Desempenho luminoso das aberturas laterais em ambiente antártico,” *XIV ENCAC*, no. 1, pp. 1859–1868, 2017.
- [3] M. Tomé, D. Pawelski, C. Alvarez, and A. Laranja, “A influência da tipologia de janela na iluminação natural: O caso da Estação Antártica Comandante Ferraz,” *An. do SBE16 Bras.*, p. 10, 2016.
- [4] J. Arendt and B. Middleton, “Human seasonal and circadian studies in Antarctica (Halley, 75°S),” *Gen. Comp. Endocrinol.*, 2018, doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.010.
- [5] H. C. Thorne, S. M. Hampton, L. M. Morgan, D. J. Skene, and J. Arendt, “Returning from night shift to day life: Beneficial effects of light on sleep,” *Sleep Biol. Rhythms*, 2010, doi: 10.1111/j.1479-8425.2010.00451.x.
- [6] R. W. Corbett, B. Middleton, and J. Arendt, “An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the Antarctic winter,” *Neurosci. Lett.*, 2012, doi: 10.1016/j.neulet.2012.06.046.
- [7] V. Mottram, B. Middleton, P. Williams, and J. Arendt, “The impact of bright artificial white and ‘blue-enriched’ light on sleep and circadian phase during the polar winter,” *J. Sleep Res.*, vol. 20, no. 1 PART II, pp. 154–161, 2011, doi: 10.1111/j.1365-2869.2010.00875.x.
- [8] O. Lingjærde, T. Bratlid, and T. Hansen, “Insomnia during the ‘dark period’ in northern Norway: An explorative, controlled trial with light treatment,” *Acta Psychiatrica Scandinavica*, vol. 71. Blackwell Publishing, United Kingdom, pp. 506–512, 1985, doi: 10.1111/j.1600-0447.1985.tb05064.x.
- [9] R. A. H. Paterson, “Seasonal Reduction of Slow-Wave Sleep at an Antarctic Coastal Station,” *Lancet*, pp. 468–469, 1975.



- [10] J. Arendt, “Is Melatonin a Photoperiodic Signal in Humans?,” in *Melatonin After Four Decades*, J. Olcese, Ed. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2000, pp. 417–423.
- [11] S. Benedetto, A. Carbone, V. Draï-Zerbib, M. Pedrotti, and T. Baccino, “Effects of luminance and illuminance on visual fatigue and arousal during digital reading,” *Comput. Human Behav.*, vol. 41, pp. 112–119, 2014, doi: 10.1016/j.chb.2014.09.023.
- [12] P. Iacomussi, M. Radis, G. Rossi, and L. Rossi, “Visual Comfort with LED Lighting,” *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 729–734, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.082.
- [13] M. S. Freedman *et al.*, “Regulation of Mammalian Circadian Behavior by Non-rod, Non-cone Ocular Photoreceptors,” *Science (80-.)*, vol. 284, no. 5413, pp. 502–504, 1999, doi: DOI: 10.1126/science.284.5413.502.
- [14] R. J. Lucas, M. S. Freedman, M. Muñoz, J.-M. Garcia-Fernández, and R. G. Foster, “Regulation of the Mammalian Pineal by Non-rod, Non-cone, Ocular Photoreceptors,” *Sci. New Ser.*, vol. 284, no. 5413, pp. 505–507, 1999, doi: 10.1126/science.284.5413.505.
- [15] L. E. Scheving, F. Halberg, and C. F. Ehret, “Chronobiotechnology and Chronobiological Engineering,” in *Martinus Nijhoff Publishers*, 1987, doi: 10.1007/978-94-009-3547-1.
- [16] C. B. Champion, “Androstenes of Thasos,” *Encycl. Anc. Hist.*, no. 711, pp. 1–1, 2017, doi: 10.1002/9781444338386.wbeah30568.
- [17] J. N. Mills, *Biological aspects of circadian rhythms*. London: PLENUM PRESS, 1973.
- [18] J. R. Abbott, “Louis Sullivan, Architectural Modernism, and the Creation of Democratic Space,” *Am. Sociol. / Spring*, pp. 62–85, 2000.
- [19] B. G. Gardiner, “The Linnean. Some Aspects of Linnaeus’ Life - 4. Linnaeus’ Floral Clock,” *Linn. Soc. London*, vol. 3, no. 1, pp. 26–29, 2007, Accessed: Jan. 25, 2023. [Online]. Available: [https://web.archive.org/web/20131212123532/http://www.linnean.org/Resources/LinneanSociety/Documents/Library-and-Archives/4-Floral Clock.pdf](https://web.archive.org/web/20131212123532/http://www.linnean.org/Resources/LinneanSociety/Documents/Library-and-Archives/4-Floral%20Clock.pdf).



- [20] C. Darwin and F. Darwin, *The Power of Movement in Plants*,. Project Gutenberg, 1880.
- [21] M. O'Shea, *spects of mental economy. An essay in some phases of the dynamics of mind, with particular observations upon student life in the University of Wisconsin*, vol. 2. 1900.
- [22] E. BARNES, "Intellectual Habits of Cornell Student," *Cornell Mag.*, vol. 03, pp. 49–57, 1890, Accessed: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/22190>.
- [23] G. L. Freeman and C. I. Hovland, "Diurnal variations in performance and related physiological processes," *Psychol. Bull.*, vol. 31, no. 10, pp. 777–799, 1934, doi: 10.1037/h0071917.
- [24] Frank A. Brown jr, "Living clocks," *Sci. AAAS*, vol. 130, no. 3388, pp. 1535–1544, 1959, doi: 10.1126/science.130.3388.1535.
- [25] J. . W. Hastings and B. M. . Sweeney, "A Persistent Diurnal Rhythm of Luminescence in *Gonyaulax polyedra*," *Biol. Bull.*, vol. 115, no. 3, pp. 440–458, 1958, [Online]. Available: www.jstor.org/stable/1539108.
- [26] C. S. Pittendrigh and D. H. Minis, "The Entrainment of Circadian Oscillations by Light and Their Role as Photoperiodic Clocks," *Univ. Chicago Press*, vol. 98, no. 902, pp. 261–294, 1964, Accessed: Jan. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/2459454>.
- [27] M. J. F. Blake, "Relationship between circadian rhythm of body temperature and introversion-extraversion," *Nat. Publ. Gr.*, vol. 216, pp. 615–616, 1967.
- [28] J. C. Dunlap, J. J. Loros, and P. J. DeCoursey, *Chronobiology: biological timekeeping*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc, 2004.
- [29] Y. Xiong, G. Chen, C. Xu, Q. Wu, N. Chen, and D. Song, "Circadian Rhythm and Sleep During Prolonged Antarctic Residence at Chinese Zhongshan Station," *Wilderness Environ. Med.*, vol. 27, no. 4, pp. 458–467, 2016, doi: 10.1016/j.wem.2016.07.004.
- [30] R. W. Corbett, B. Middleton, and J. Arendt, "An hour of bright white light in the early morning improves performance and advances sleep and circadian phase during the



- Antarctic winter,” *Neurosci. Lett.*, vol. 525, no. 2, pp. 146–151, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.neulet.2012.06.046.
- [31] A. Harris *et al.*, “Diurnal rhythm in British Antarctic personnel,” *Rural Remote Health*, vol. 10, no. 1351, 2010, [Online]. Available: <http://www.rrh.org.au>.
- [32] J. Owen and J. Arendt, “Melatonin suppression in human subjects by bright and dim light in Antarctica: time and season-dependent effects,” *Neurosci. Lett.*, vol. 137, no. 2, pp. 181–184, Mar. 1992, doi: 10.1016/0304-3940(92)90399-R.
- [33] L. Morgan and J. Arendt, “Circadian adaptation in Antarctic shiftworkers: relationship to diurnal preference, season and subjective sleep. Biographies View project Effects of water-soluble forms of dietary fibre on postprandial meatbolism View project,” 2003. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/290770188>.
- [34] L. BISHOP *et al.*, “Sleep during the Antarctic winter: Preliminary observations on changing the spectral composition of artificial light,” *J. Sleep Res.*, vol. 17, no. 3, pp. 354–360, Sep. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2869.2008.00664.x.
- [35] D. J. Kennaway and C. F. Van Dorp, “Free-running rhythms of melatonin, cortisol, electrolytes, and sleep in humans in Antarctica,” *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.*, 2017, doi: 10.1152/ajpregu.1991.260.6.r1137.
- [36] B. Tassino, S. Horta, N. Santana, R. Levandovski, and A. Silva, “Extreme late chronotypes and social jetlag challenged by antarctic conditions in a population of university students from Uruguay,” *Sleep Sci.*, vol. 9, no. 1, 2016, doi: 10.1016/j.slsi.2016.01.002.
- [37] G. Collet *et al.*, “Altitude and Seasonality Impact on Sleep in Antarctica,” *Aerosp. Med. Hum. Perform.*, vol. 86, no. 4, pp. 392–396, 2015, doi: 10.3357/AMHP.4159.2015.
- [38] J. Broadway, J. Arendt, and S. Folkard, *Bright light phase shifts the human melatonin rhythm during the Antarctic winter*, vol. 79. 1987, pp. 185–189.
- [39] G. C. Brainard *et al.*, “Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor,” *J. Neurosci.*, 2001, doi: 10.1523/jneurosci.21-16-06405.2001.



- [40] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR ISO 8995 - 1 Iluminação de ambientes de trabalho. Parte I interior*. Rio de Janeiro, 2013.
- [41] CIE Commission International de L'Éclairage, "Cie System for Metrology of Optical Radiation for Iprgc-Influenced Responses To Light Cie S 026/E:2018," no. November 2020, pp. 29–31, 2020, doi: 10.25039/S026.2018.
- [42] J. L. Souman, A. M. Tinga, S. F. te Pas, R. van Ee, and B. N. S. Vlaskamp, "Acute alerting effects of light: A systematic literature review," *Behav. Brain Res.*, vol. 337, no. September 2017, pp. 228–239, 2018, doi: 10.1016/j.bbr.2017.09.016.
- [43] A. Alkozei, R. Smith, and W. D. S. Killgore, "Exposure to blue wavelength light modulates anterior cingulate cortex activation in response to 'uncertain' versus 'certain' anticipation of positive stimuli," *Neurosci. Lett.*, vol. 616, pp. 5–10, 2016, doi: 10.1016/j.neulet.2016.01.034.
- [44] K. T. Stewart, J. R. Gaddy, B. Byrne, S. Miller, and G. C. Brainard, "Effects of green or white light for treatment of seasonal depression," *Psychiatry Res*, vol. 38, no. 3, pp. 261–270, 1991, [Online]. Available: 1754638.
- [45] B. I. Yerevanian, J. L. Anderson, L. J. Grota, and M. Bray, "Effects of bright incandescent light on seasonal and nonseasonal major depressive disorder," *Psychiatry Res.*, vol. 18, no. 4, pp. 355–364, 1986, doi: 10.1016/0165-1781(86)90020-X.
- [46] M. te Kulve, L. J. M. Schlangen, L. Schellen, A. J. H. Frijns, and W. D. van Marken Lichtenbelt, "The impact of morning light intensity and environmental temperature on body temperatures and alertness," *Physiol. Behav.*, vol. 175, no. March, pp. 72–81, 2017, doi: 10.1016/j.physbeh.2017.03.043.
- [47] S. Cho *et al.*, "Blue lighting decreases the amount of food consumed in men, but not in women," *Appetite*, vol. 85, pp. 111–117, 2015, doi: 10.1016/j.appet.2014.11.020.
- [48] D. H. Avery *et al.*, "Dawn simulation and bright light in the treatment of SAD: A controlled study," *Biol. Psychiatry*, vol. 50, no. 3, pp. 205–216, 2001, doi: 10.1016/S0006-3223(01)01200-8.
- [49] L. J. Grota, B. I. Yerevanian, K. Gupta, J. Kruse, and L. Zborowski, "Phototherapy for seasonal major depressive disorder: Effectiveness of bright light of high or low



- intensity,” *Psychiatry Res.*, vol. 29, no. 1, pp. 29–35, 1989, doi: 10.1016/0165-1781(89)90184-4.
- [50] J. Zhang, W. Qiao, J. T. Wen, and A. Julius, “Light-based circadian rhythm control: Entrainment and optimization,” *Automatica*, vol. 68, pp. 44–55, 2016, doi: 10.1016/j.automatica.2016.01.052.
- [51] M. Engwall, I. Fridh, L. Johansson, I. Bergbom, and B. Lindahl, “Lighting, sleep and circadian rhythm: An intervention study in the intensive care unit,” *Intensive Crit. Care Nurs.*, vol. 31, no. 6, pp. 325–335, 2015, doi: 10.1016/j.iccn.2015.07.001.
- [52] G. M. Cavallera and S. Giudici, “Morningness and eveningness personality: A survey in literature from 1995 up till 2006,” *Pers. Individ. Dif.*, vol. 44, no. 1, pp. 3–21, 2008, doi: 10.1016/j.paid.2007.07.009.
- [53] A. D. Galasiu and J. A. Veitch, “Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review,” *Energy Build.*, vol. 38, no. 7, pp. 728–742, 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.001.
- [54] F. Beute and Y. A. W. de Kort, “Let the sun shine! Measuring explicit and implicit preference for environments differing in naturalness, weather type and brightness,” *J. Environ. Psychol.*, vol. 36, pp. 162–178, 2013, doi: 10.1016/j.jenvp.2013.07.016.
- [55] T. Kozaki, A. Kubokawa, R. Taketomi, and K. Hatae, “Effects of day-time exposure to different light intensities on light-induced melatonin suppression at night,” *J. Physiol. Anthropol.*, vol. 34, p. 27, 2015, doi: 10.1186/s40101-015-0067-1.
- [56] C. Vetter and F. A. J. L. Scheer, “Circadian Biology: Uncoupling Human Body Clocks by Food Timing,” *Curr. Biol.*, vol. 27, no. 13, pp. R656–R658, 2017, doi: 10.1016/j.cub.2017.05.057.
- [57] S. M. T. Wehrens *et al.*, “Meal Timing Regulates the Human Circadian System,” *Curr. Biol.*, vol. 27, no. 12, pp. 1768–1775.e3, 2017, doi: 10.1016/j.cub.2017.04.059.
- [58] J. H. Kim and J. F. Duffy, “Circadian Rhythm Sleep-Wake Disorders in Older Adults,” *Sleep Med. Clin.*, 2017, doi: 10.1016/j.jsmc.2017.09.004.
- [59] R. Bordet, “Système mélatoninergique, rythmes biologiques et troubles de l’humeur,”



- Encephale.*, vol. 32, no. 5, pp. 802–809, 2006, doi: 10.1016/s0013-7006(06)76234-0.
- [60] A. M. Chang, F. A. J. L. Scheer, and C. A. Czeisler, “The human circadian system adapts to prior photic history,” *J. Physiol.*, vol. 589, no. 5, pp. 1095–1102, Mar. 2011, doi: 10.1113/jphysiol.2010.201194.
- [61] M. Rosbash and S. Benzer, “Scientific Background Discoveries of Molecular Mechanisms Controlling the Circadian Rhythm,” *Nobelforsamlinge J.*, p. 7, 2017, Accessed: Apr. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/advanced-information/>.
- [62] S. Wahl, M. Engelhardt, P. Schaupp, C. Lappe, and I. V Ivanov, “The inner clock — Blue light sets the human rhythm,” *J. Biophotonics*, no. March, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1002/jbio.201900102.
- [63] CIE TN 003:2015, “Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013,” 2015.
- [64] S. J. Crowley *et al.*, “A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence,” *PLoS One*, vol. 9, no. 11, Nov. 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0112199.
- [65] J. Arendt, “Melatonin: Characteristics, concerns, and prospects,” *J. Biol. Rhythms*, vol. 20, no. 4, pp. 291–303, 2005, doi: 10.1177/0748730405277492.
- [66] M. Spitschan and N. Santhi, “Individual differences and diversity in human physiological responses to light,” *eBioMedicine*, vol. 75, p. 103640, 2022, doi: 10.1016/j.ebiom.2021.103640.
- [67] R. J. Lucas *et al.*, “Measuring and using light in the melanopsin age,” *Trends Neurosci.*, vol. 37, no. 1, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1016/j.tins.2013.10.004.
- [68] M. Spitschan, S. Jain, D. H. Brainard, and G. K. Aguirre, “Opponent melanopsin and S-cone signals in the human pupillary light response,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 43, pp. 15568–15572, 2014, doi: 10.1073/pnas.1400942111.
- [69] J. Al Enezi, V. Revell, T. Brown, J. Wynne, L. Schlangen, and R. Lucas, “A ‘melanopic’ spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to



- polychromatic lights,” *J. Biol. Rhythms*, vol. 26, no. 4, pp. 314–323, 2011, doi: 10.1177/0748730411409719.
- [70] International WELL Building Institute, “Circadian Lighting design,” *Circadian lighting design | WELL Standard*, 2020. <https://www.wellcertified.com/> (accessed Oct. 25, 2022).
- [71] S. Wahl, M. Engelhardt, P. Schaupp, C. Lappe, and I. V. Ivanov, “The inner clock—Blue light sets the human rhythm,” *J. Biophotonics*, vol. 12, no. 12, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1002/jbio.201900102.
- [72] M. L. Amundadottir, S. W. Lockley, and M. Andersen, “Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health,” *Light. Res. Technol.*, vol. 49, no. 6, pp. 673–696, 2017, doi: 10.1177/1477153516655844.
- [73] P. Khademagha, M. B. C. Aries, A. L. P. Rosemann, and E. J. van Loenen, “Implementing non-image-forming effects of light in the built environment: A review on what we need,” *Build. Environ.*, vol. 108, pp. 263–272, 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.08.035.
- [74] M. Moore-Ede, A. Heitmann, and R. Guttkuhn, “Circadian Potency Spectrum with Extended Exposure to Polychromatic White LED Light under Workplace Conditions,” *J. Biol. Rhythms*, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1177/0748730420923164.
- [75] S. I. Yun, J. W. Jeong, and A. Choi, “Photopic illuminance-based black-box model for regulation of human circadian rhythm via daylight control,” *Build. Environ.*, vol. 203, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108069.
- [76] Y. Zeng, H. Sun, B. Lin, and Q. Zhang, “Non-visual effects of office light environment: Field evaluation, model comparison, and spectral analysis,” *Build. Environ.*, vol. 197, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107859.
- [77] Y. Zeng, H. Sun, B. Lin, and Q. Zhang, “Non-visual effects of office light environment: Field evaluation, model comparison, and spectral analysis,” *Build. Environ.*, vol. 197, no. January, p. 107859, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107859.
- [78] V. Mathew and C. Pearl Kurian, “A framework for the selection of tunable LED luminaire for human centric lighting design,” *Proc. Int. Conf. Smart Technol. Comput.*



- Electr. Electron. ICSTCEE* 2020, pp. 95–100, 2020, doi: 10.1109/ICSTCEE49637.2020.9276876.
- [79] R. E. Mistlberger and D. J. Skene, “Nonphotic entrainment in humans?,” *Journal of Biological Rhythms*. 2005, doi: 10.1177/0748730405277982.
- [80] D. P. A. Marins, “Metodologia de avaliação lumínica : estudo de caso Estação Antártica Comandante Ferraz,” Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- [81] J. K. Ross, J. Arendt, J. Horne, and W. Haston, “Night-shift work in antarctica: Sleep characteristics and bright light treatment,” *Physiol. Behav.*, vol. 57, no. 6, pp. 1169–1174, 1995, doi: 10.1016/0031-9384(95)00018-E.
- [82] S. Yoneyama, S. Hashimoto, and K. Honma, “Seasonal changes of human circadian rhythms in Antarctica,” *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.*, vol. 277, no. 4, pp. R1091–R1097, Dec. 2017, doi: 10.1152/ajpregu.1999.277.4.r1091.
- [83] Dielly Christine Guedes Montarroyos, “Metodologia para avaliação ambiental em edificações antárticas,” Universidade do Minho, 2021.
- [84] D. C. G. Montarroyos, C. E. de Alvarez, and L. Bragança, “Assessing the environmental impacts of construction in Antarctica,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 79, no. August, p. 106302, 2019, doi: 10.1016/j.eiar.2019.106302.
- [85] Marinha do Brasil, “Programa Antártico Brasileiro,” *CIRM*, 2023. <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/eacf> (accessed Feb. 03, 2023).
- [86] M. S. Rodrigues, G. G. J. Filho, A. B. Daros, and C. E. de Alvarez, “Termo de Referência para concurso da Estação antártica Comandante Ferraz,” 2013. [Online]. Available: <https://dokumen.tips/download/link/termo-de-referencia-eacf.html>.
- [87] Marinha do Brasil, “Escola de Aprendizes-Marinheiros do Espírito Santo,” *EAMES*, 2023. <https://www.marinha.mil.br/eames> (accessed Feb. 05, 2023).
- [88] M. Rossi, A. Pandharipande, D. Caicedo, L. Schenato, and A. Cenedese, “Personal lighting control with occupancy and daylight adaptation,” *Energy Build.*, vol. 105, pp. 263–272, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.059.
- [89] J. L. Martin and A. D. Hakim, “Wrist actigraphy,” *Chest*, vol. 139, no. 6, pp. 1514–1527,



- 2011, doi: 10.1378/chest.10-1872.
- [90] D. Levine, J. Torabi, K. Choinski, J. P. Rocca, and J. A. Graham, “Transplant surgery enters a new era: Increasing immunosuppressive medication adherence through mobile apps and smart watches,” *Am. J. Surg.*, 2019, doi: 10.1016/j.amjsurg.2019.02.018.
- [91] H. Kalantarian, N. Alshurafa, and M. Sarrafzadeh, “Detection of Gestures Associated with Medication Adherence Using Smartwatch-Based Inertial Sensors,” *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 4, pp. 1054–1061, Feb. 2016, doi: 10.1109/JSEN.2015.2497279.
- [92] A. W. Teh *et al.*, “Smart watches for heart rate assessment in atrial arrhythmias,” *Int. J. Cardiol.*, 2018, doi: 10.1016/j.ijcard.2018.02.073.
- [93] Y. Okada, T. Y. Yoto, T. Suzuki, S. Sakuragawa, and T. Sugiura, “Wearable ECG Recorder with Acceleration Sensors for Monitoring Daily Stress*: Office Work Simulation Study,” *35th Annu. Int. Conf. IEEE EMBS*, 2013.
- [94] M. R. Kamdar and M. J. Wu, “PRISM: A DATA-DRIVEN PLATFORM FOR MONITORING MENTAL HEALTH,” *Pac. Symp. Biocomput.*, vol. 21, pp. 333–44, 2016, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26776198>.
- [95] J. McWhorter, L. Brown, and L. Khansa, “A wearable health monitoring system for posttraumatic stress disorder,” *Biol. Inspired Cogn. Archit.*, 2017, doi: 10.1016/j.bica.2017.09.004.
- [96] C. A. Boano, M. Lasagni, K. Römer, and Tanja Lange, “Poster Abstract: Accurate Monitoring of Circadian Rhythms using Wearable Body Sensor Networks,” in *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2011.
- [97] K. Ghazinour, E. Shirima, V. R. Parne, and A. Bhoomreddy, “A Model to Protect Sharing Sensitive Information in Smart Watches,” in *Procedia Computer Science*, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.08.322.
- [98] M. Kheirkhanian *et al.*, “A smartwatch-based framework for real-time and online assessment and mobility monitoring,” *J. Biomed. Inform.*, 2019, doi: 10.1016/j.jbi.2018.11.003.



- [99] P. Plastiras and D. O’Sullivan, “Exchanging personal health data with electronic health records: A standardized information model for patient generated health data and observations of daily living,” *Int. J. Med. Inform.*, 2018, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2018.10.006.
- [100] I. Awolusi, E. Marks, and M. Hallowell, “Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices,” *Autom. Constr.*, vol. 85, pp. 96–106, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.010.
- [101] J. Sajeev *et al.*, “ACCURACY OF SMART WATCHES IN ARRHYTHMIAS: SMARTS STUDY,” *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2017, doi: 10.1016/s0735-1097(17)33726-9.
- [102] B. Reeder and A. David, “Health at hand: A systematic review of smart watch uses for health and wellness,” *Journal of Biomedical Informatics*. 2016, doi: 10.1016/j.jbi.2016.09.001.
- [103] D. Witt, R. Kellogg, M. Snyder, and J. Dunn, “Windows Into Human Health Through Wearables Data Analytics,” *Curr. Opin. Biomed. Eng.*, 2019, doi: 10.1016/j.cobme.2019.01.001.
- [104] J. Merilahti, P. Viramo, and I. Korhonen, “Wearable monitoring of physical functioning and disability changes, circadian rhythms and sleep patterns in nursing home residents,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 20, no. 3, pp. 856–864, May 2016, doi: 10.1109/JBHI.2015.2420680.
- [105] A. Papa, M. Mital, P. Pisano, and M. Del Giudice, “E-health and wellbeing monitoring using smart healthcare devices: An empirical investigation,” *Technological Forecasting and Social Change*, 2018.
- [106] G. Sinnapolu and S. Alawneh, “Integrating wearables with cloud-based communication for health monitoring and emergency assistance,” *Internet of Things*, 2018, doi: 10.1016/j.iot.2018.08.004.
- [107] L. Hu, J. Yang, M. Chen, Y. Qian, and J. J. P. C. Rodrigues, “SCAI-SVSC: Smart clothing for effective interaction with a sustainable vital sign collection,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2018, doi: 10.1016/j.future.2018.03.042.
- [108] J. Allen, “Photoplethysmography and its application in clinical physiological



- measurement,” *Physiol. Meas.*, vol. 28, no. 3, 2007, doi: 10.1088/0967-3334/28/3/R01.
- [109] H. Lee, H. Ko, C. Jeong, and J. Lee, “Wearable Photoplethysmographic Sensor Based on Different LED Light Intensities,” *IEEE Sens. J.*, vol. 17, no. 3, pp. 587–588, Feb. 2017, doi: 10.1109/JSEN.2016.2633575.
- [110] A. Dittmar, C. Gehin, G. Delhomme, D. Boivin, G. Dumont, and C. Mott, “A Non Invasive Wearable Sensor for the Measurement of Brain Temperature,” in *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, 2006.
- [111] D. Grochala, M. Kajor, and E. Kantoch, “A wearable multi-sensor solution for daily activities monitoring with an expanded respiratory part,” in *URSI 2018 - Baltic URSI Symposium*, Jul. 2018, pp. 95–99, doi: 10.23919/URSI.2018.8406720.
- [112] Boris Landoni, “LET ’ S BUILD A SPECTROMETER,” *Open Source Projects*, 2018. <https://www.open-electronics.org/lets-build-a-spectrometer/> (accessed Aug. 06, 2020).
- [113] E. Hecht, *Optics*, 2nd Editio., vol. 0. Massachusetts: Addison-Wesley; 2nd Edition (January 1, 1987), 1987.
- [114] R. A. Crocombe, “Portable spectroscopy in 2019: smaller, cheaper and in consumer products?,” in *SPIE Digital Library*, 2019, no. May 2019, p. 100, doi: 10.1117/12.2535599.
- [115] J. R. Vanderveen, B. Martin, and K. J. Ooms, “Developing tools for undergraduate spectroscopy: An inexpensive visible light spectrometer,” *J. Chem. Educ.*, vol. 90, no. 7, pp. 894–899, 2013, doi: 10.1021/ed300396x.
- [116] T.-S. Yeh and S.-S. Tseng, “A Low Cost LED Based Spectrometer,” *HJournal Chinese Chem. Soc.*, no. 53, pp. 1067–1072, 2006.
- [117] P. F. Pires, F. C. Delicato, T. Batista, T. Barros, E. Cavalcante, and M. Pitanga, “Plataformas para a Internet das Coisas,” in *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2015, pp. 110–169.
- [118] P. Fremantle, “A REFERENCE ARCHITECTURE FOR THE INTERNET OF THINGS,” *wso2 white Pap.*, vol. 0, 2015.
- [119] M. Ma, P. Wang, and C. H. Chu, “Data management for internet of things: Challenges,



- approaches and opportunities,” *Proc. - 2013 IEEE Int. Conf. Green Comput. Commun. IEEE Internet Things IEEE Cyber, Phys. Soc. Comput. GreenCom-iThings-CPSCOM 2013*, pp. 1144–1151, 2013, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCOM.2013.199.
- [120] D. P. A. Marins *et al.*, “Dealing with challenges developing a gateway to the end of the world- the Brazilian Antarctic Station case study,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 4662, no. c, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3148005.
- [121] J. Broadway, J. Arendt, and S. Folkard, “Bright light phase shifts the human melatonin rhythm during the Antarctic winter,” *Neurosci. Lett.*, 1987, doi: 10.1016/0304-3940(87)90694-X.
- [122] D. C. Holzman, “What’s in a Color? The Unique Human Health Effects of Blue Light,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 118, no. 1, pp. A22-27, 2010.
- [123] S. M. Berman and R. D. Clear, “A practical metric for melanopic metrology,” *Light. Res. Technol.*, vol. 51, no. 8, pp. 1178–1191, Dec. 2019, doi: 10.1177/1477153518824147.
- [124] R. J. Lucas *et al.*, “Measuring and using light in the melanopsin age,” *Trends Neurosci.*, vol. 37, no. 1, pp. 1–9, 2014, doi: 10.1016/j.tins.2013.10.004.
- [125] B. Middleton, J. Arendt, and B. M. Stone, “Human circadian rhythms in constant dim light (8 lux) with knowledge of clock time,” *J. Sleep Res.*, 1996, doi: 10.1046/j.1365-2869.1996.d01-67.x.
- [126] D. Vondrašová-Jelínková, I. Hájek, and H. Illnerová, “Adjustment of the human melatonin and cortisol rhythms to shortening of the natural summer photoperiod,” *Brain Res.*, 1999, doi: 10.1016/S0006-8993(98)01189-5.
- [127] L. MICHEL, *Light: the shape of space: designing with space and light*. New York, NY: Wiley, 1966.
- [128] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 5413 - Iluminância de Interiores*. Rio de Janeiro, 1990.
- [129] D. Galadí-Enríquez, “Beyond CCT: The spectral index system as a tool for the objective, quantitative characterization of lamps,” *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, vol. 206, pp. 399–408, 2018, doi: 10.1016/j.jqsrt.2017.12.011.



- [130] CIE Commission International de L'Éclairage, "Colorimetry - Part 1: CIE standard colorimetric observers," 2019.
- [131] Y. Ohno, "CIE Fundamentals for Color Measurements," *Int. Conf. Digit. Print. Technol.*, pp. 540–545, 2000.
- [132] J. Guild, "The colorimetric properties of the spectrum," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.*, vol. 230, no. 681–693. HArrison and sons LTD., London, pp. 149–187, 1931, doi: 10.1098/rsta.1932.0005.
- [133] J. C. TORNQUIST, *COLORE E LUCE: Teoria e pratica. Istituto. Italia: Colore, Istituto del*, 2001.
- [134] S. Carlucci, F. Causone, F. De Rosa, and L. Pagliano, "A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 1016–1033, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.062.
- [135] J. Mardaljevic, L. Heschong, and E. Lee, "Daylight metrics and energy savings.," *Light. Res. Technol.*, vol. 41, pp. 261–283, 2009, doi: 10.1177/1477153509339703.
- [136] A. Nabil and J. Mardaljevic, "Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors," *Energy Build.*, 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013.
- [137] C. F. Reinhart and D. A. Weissman, "The daylit area - Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics," *Build. Environ.*, vol. 50, pp. 155–164, 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.024.
- [138] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design science in information systems research," *MIS Q. Manag. Inf. Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004, doi: 10.2307/25148625.
- [139] Marinha do Brasil, "O Grupo-Base da Estação Antártica Brasileira," *Programa Antártico Brasileiro*, 2023. <https://www.marinha.mil.br/secirm> (accessed Feb. 15, 2023).
- [140] M. do Brasil, "EAMES: Nosso Primeiro Navio," 2023. <https://www.marinha.mil.br/eames/#close> (accessed Feb. 15, 2023).



- [141] <https://ams.com/>, “AS7262 Datasheet,” Áustria, 2017. [Online]. Available: <https://ams.com/as7262#tab/description>.
- [142] <https://ams.com/>, “AS7263 Datasheet,” Austria, 2016. [Online]. Available: <https://ams.com/AS7263>.
- [143] D. P. Marins, M. Segatto, C. E. Alvarez, and B. Piderit, “Below Useful Daylight Illuminance (BUDI): a new useful range measurement parameter,” in *SBFOTON - IEEE explorer*, 2019, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8910193>.
- [144] J. . Guild, “The Colorimetric Properties of the Spectrum,” *Trans. R. Soc. London*, vol. 230, pp. 149–187, 1932, [Online]. Available: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.1932.0005>.
- [145] W. D. Wright, “A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours,” *Trans. Opt. Soc.*, vol. 141, no. 30, 1929.
- [146] C. Li *et al.*, “Accurate method for computing correlated color temperature,” *Opt. Express*, vol. 24, no. 13, p. 14066, 2016, doi: 10.1364/oe.24.014066.
- [147] C. S. McCamy, “Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates,” *Color Res. Appl.*, vol. 17, no. 2, pp. 142–144, 1992, doi: 10.1002/col.5080170211.
- [148] ASTM, “Standard practice for computing the colors of objects using the CIE system E 308 - 96,” *Annu. B. ASTM Stand.*, no. November, pp. 1–31, 2001, [Online]. Available: <https://www.astm.org/Standards/E308.htm>.
- [149] J. Arendt and B. Middleton, “Human seasonal and circadian studies in Antarctica (Halley, 75°S),” *Gen. Comp. Endocrinol.*, 2018, doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.010.
- [150] M. Gibbs, S. Hampton, L. Morgan, and J. Arendt, “Adaptation of the circadian rhythm of 6-sulphatoxymelatonin to a shift schedule of seven nights followed by seven days in offshore oil installation workers,” *Neurosci. Lett.*, 2002, doi: 10.1016/S0304-3940(02)00247-1.
- [151] B. L. Smarr, D. C. Burnett, S. M. Mesri, K. S. J. Pister, and L. J. Kriegsfeld, “A Wearable Sensor System with Circadian Rhythm Stability Estimation for Prototyping Biomedical



- Studies,” *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 220–230, 2016, doi: 10.1109/TAFFC.2015.2511762.
- [152] M. Moškon, “CosinorPy: a python package for cosinor-based rhythmometry,” *BMC Bioinformatics*, vol. 21, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1186/s12859-020-03830-w.
- [153] J. C. Ferreira and C. M. Patino, “O que realmente significa o valor-p?,” *J. Bras. Pneumol.*, vol. 41, no. 5, pp. 485–485, 2015.
- [154] G. Cornelissen, “Cosinor-based rhythmometry,” *Theor. Biol. Med. Model.*, vol. 11, no. 16, pp. 1–24, 2014, [Online]. Available: <https://tbiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1742-4682-11-16>.
- [155] XIAOMI, “Mi Band 3,” 2018. <https://www.mi.com/in/mi-band-3/>.
- [156] J. R. Celestrini, R. N. Rocha, C. A. S. Santos, V. F. S. Mota, J. G. P. Filho, and R. V. Andreão, “HealthDash: Monitoramento remoto de pacientes utilizando programação baseada em fluxo de dados,” pp. 222–233, 2019, doi: 10.5753/sbcas.2019.6256.



Apêndices

Cronologia Detalhada da Pesquisa

A pesquisa de doutorado foi conduzida no período entre junho de 2019 e maio de 2023. O gráfico apresentado na Figura 65 é a representação da linha do tempo no eixo horizontal, ilustrando o processo de coleta de dados, evidenciando os equipamentos empregados, os locais e os períodos relacionados a cada fase da pesquisa.

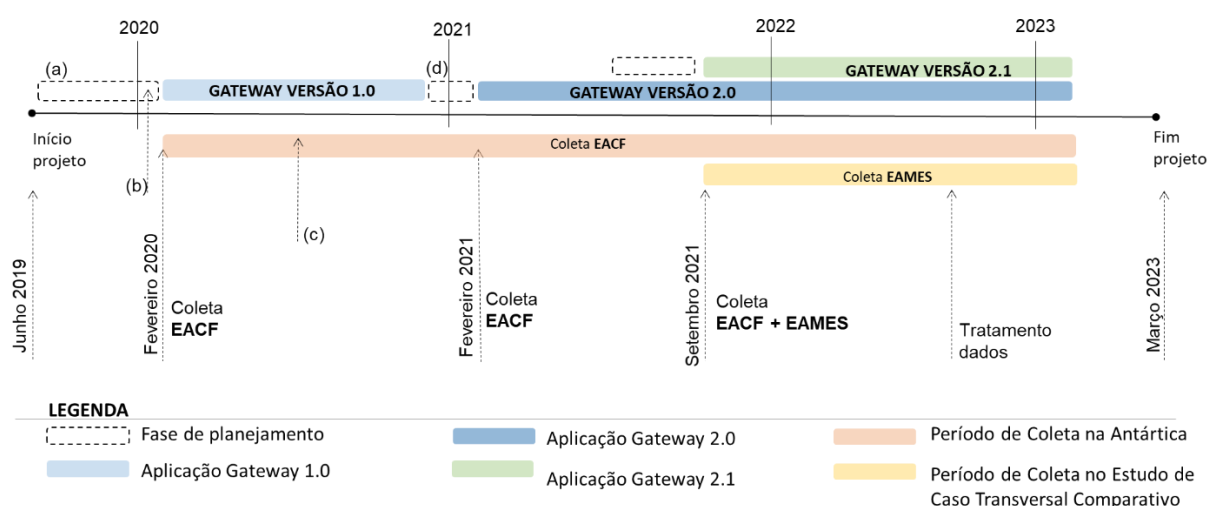


Figura 65 - Linha do tempo da pesquisa.

Na presente representação gráfica linear dos eventos no decorrer da pesquisa, são evidenciadas as atualizações e aprimoramentos do equipamento desenvolvido, bem como as datas nas quais ocorreram mudanças significativas e tomadas de decisões relevantes. Adicionalmente, a linha do tempo ilustra o período de quatro anos da pesquisa, correspondente ao intervalo temporal compreendido entre junho de 2019 e março de 2023.

Durante o período inicial da pesquisa, compreendido entre junho de 2019 e janeiro de 2020, conforme apresentado na Figura 65(a), foi realizada a fase de planejamento e investigação do projeto. A ideia original de compreender melhor o impacto da luz e do espectro luminoso no bem-estar dos usuários do espaço enfrentou vários desafios e questões sem respostas definitivas. Questões relevantes ao tema, como quais equipamentos estão disponíveis no mercado para coleta de dados, quais são os requisitos de funcionamento desses equipamentos,



que recursos estão disponíveis para viabilizar o uso de tecnologias de monitoramento e qual é o tempo necessário para planejamento, montagem e testes, foram exploradas e avaliadas.

De fato, há uma grande variedade de dispositivos disponíveis no mercado para monitoramento humano, principalmente aqueles com interface amigável e preços acessíveis. No entanto, sabe-se que o estudo e pesquisa sobre monitoramento inteligente e vestível, ou *smart wearable healthcare* (SWH), é um tema relativamente novo na ciência, e ainda existem poucos estudos empíricos nesta área de dispositivos. A ideia é de um equipamento de acompanhamento da saúde humana, que seja confortável e acessível no dia a dia e essa necessidade vem de muitos anos atrás [15] e é uma conquista da tecnologia e da disponibilidade de novos sensores.

Após as definições de planejamento do produto - como aquisição de equipamentos, processos de compra, entrega, análise de possíveis defeitos de fábrica, compatibilidade entre dispositivos, conexões e cabamentos, design de produto, local de montagem e montagem da equipe de projeto, em janeiro de 2020, na Figura 65(b), houve uma corrida contra o tempo para concluir a instalação dos sensores e pulseiras antes do último embarque do navio antártico. Em menos de um mês, a equipe conseguiu imprimir as caixas, instalar os sensores, testar a funcionalidade e preparar as pulseiras para enviar à EACF em fevereiro de 2020. No entanto, quando os equipamentos chegaram na estação, eles não funcionaram.

O período entre fevereiro de 2020 e maio de 2020 evidenciou a importância da etapa de planejamento em qualquer projeto. É fundamental revisar e testar todos os detalhes, uma vez que qualquer imprevisto na execução do projeto pode acarretar transtornos financeiros ou de funcionalidade. No caso dos equipamentos enviados, inicialmente foram identificados problemas de conexão de internet⁴, o que resultou em um atraso de quatro meses para o início efetivo da coleta de dados, que ocorreu em julho de 2020.

No período de julho a novembro de 2020, ocorreu a coleta e recebimento de dados, conforme apresentado na Figura 65(c). Durante essa fase da pesquisa, o equipamento foi testado e, embora

⁴ A Estação Antártica Brasileira funcionou em módulos emergenciais de 2012 (após o incêndio) a 2019, e neste período foi construído o novo edifício, e todas novas instalações. Em janeiro de 2020 houve a inauguração da nova Estação, e consequentemente, a troca e atualização do sistema de comunicação. A operadora responsável pela internet habilitou o sistema 4G, e desabilitou o 3G (tecnologia que foi instalada nos Gateways 1.0). Logo, o equipamento não se comunicava com o servidor local e foi necessário o envio de um novo modem, o qual chegou à Estação na remessa invernal de suprimentos, de paraquedas, pois nesse período o mar congela na Baía do Almirantado e não atracam navios.



estivesse funcionando, houve inúmeros obstáculos a serem superados ⁵. Com base nas melhorias necessárias identificadas no *hardware* e nos problemas encontrados, iniciou-se a construção da nova versão do Gateway, como apresentado na Figura 65(d). Novamente, ficou claro que a etapa de planejamento é importante e pode causar transtornos significativos caso não seja adequadamente executada.

O período entre novembro de 2020 e fevereiro de 2021 deveria ter sido utilizado para continuar a coleta de dados, mas devido ao atraso na chegada do novo equipamento, o Gateway versão 2.0, os dados só puderam ser coletados novamente em fevereiro do ano seguinte. Isso ocorreu devido aos protocolos de segurança contra a pandemia e às precauções exigidas pela Marinha do Brasil para o envio dos novos equipamentos, o que resultou em um período de quarentena na Estação de Apoio Antártico (ESANTAR) no Rio Grande-RS, e na chegada tardia dos equipamentos na EACF no final do verão de 2021.

Em maio de 2021, ocorreu outro impedimento na coleta de dados: os cartões de memória dos Gateways instalados na EACF corromperam, e dois dos três equipamentos pararam de coletar dados. A manutenção não foi possível até que fosse enviados novos cartões para a estação científica e que esse processo fosse aprovado pela Marinha do Brasil.

Neste momento, por essa e outras razões, entendeu-se a necessidade de buscar uma parceria similar à EACF, mais próxima, preferencialmente na região tropical, a qual pudesse servir, como um estudo comparativo transversal, para análise mais profunda dos dados. Um estudo para confrontar os dados, com utilizadores similares e rotinas militares próprias, foi escolhida a Escola de Aspirantes a Marinheiros do Espírito Santo, a EAMES, pois a mesma se localiza próximo à Universidade em que a pesquisa está sendo desenvolvida, e essa proximidade permitiria entender melhor as falhas ocorridas locais, sem intermediários.

Então, a partir de julho de 2021 a pesquisa foi ajustada e adaptada para trabalhar em ambos os locais: EACF e EAMES ⁶. Em setembro de 2021, após nova autorização do Comitê de Ética

⁵ Terremoto, interferência humana no deslocamento e desligamento dos Gateways, bloqueio dos mesmos por outros objetos, falhas nos plugues da caixa, entre outros. Esses problemas e soluções foram relatados em artigo específico, publicado em revista especializada no tema e nomeados como desafios, onde cada problema, apresentava um ponto fraco do produto desenvolvido e oportunizava a melhoria dessas falhas, incentivando a criação de uma nova versão do Gateway [120].

⁶ É importante destacar que a escolha corrobora com os parâmetros definidos no primeiro estudo de caso, a EACF: voluntários com as mesmas características (militares, em ambiente de trabalho) e espaço arquitetônico com a mesma função (sala de refeições e estar em ambiente de trabalho).



(CEP) foi iniciada a coleta de dados na EAMES com novos equipamentos desenvolvidos, após melhorias e adaptações do Gateway versão 2.0 (em uso na Antártica). O Gateway versão 2.1 apresenta um sensor espectral com dois canais de medições extra na região do espectro de luz visível, além disso, o subprojeto EAMES possibilitou o angariamento de mais voluntários que a EACF oferece.

Em dezembro de 2021, houve a troca do grupo base na Antártica, e junto com o novo grupo, foram enviados os cartões de memória substitutos e novos equipamentos (Gateway versão 2.1). Logo, as coletas na Antártica foram retomadas.

É importante ressaltar que as alterações realizadas nos componentes eletrônicos e sensores não foram feitas exclusivamente para garantir o correto funcionamento dos equipamentos. De fato, em muitos casos, essas mudanças podem ser consideradas erros, uma vez que cada modificação pode ter solucionado problemas já identificados, mas possivelmente gerou novos problemas que ainda não foram percebidos. Em algumas ocasiões, durante a produção de novos Gateways necessários para a continuidade e suporte à pesquisa, certos sensores e dispositivos não estavam disponíveis para compra no mercado devido a indisponibilidade em estoque das lojas ou mudanças na linha de produção. Por consequência, os novos equipamentos produzidos tiveram que se adaptar às variações do mercado, além de atender as necessidades de melhoria.

A nova versão do Gateway, versão 2.1, funcionou concomitantemente com a versão 2.0, e essa realidade exigiu muitos cuidados específicos e atenção à coleta de dados, necessitando a criação de um esquema de interpolação dos dados e ajuste para homogeneidade dos dados.

No mês de junho do ano de 2022, iniciou-se o processo de consolidação dos dados. Nesse contexto, a busca por falhas nas coletas foi intensificada, o que demandou a realização de procedimentos manuais para confirmar e capturar a maior quantidade possível de informações coletadas até aquele momento. Foi utilizado o conjunto de dados coletados até o mês de novembro do mesmo ano. Os gráficos contendo os resultados foram estabelecidos e concluídos no mês de fevereiro de 2023.



Registros Fotográficos

A seguir, serão apresentadas as etapas do processo de desenvolvimento dos Gateways, realizadas nos laboratórios da Universidade Federal do Espírito Santo, mais precisamente no LABTEL e no Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento do Espírito Santo, o CPID.

Após a elaboração do projeto, foram realizadas a seleção dos equipamentos e a compra dos mesmos, seguidas pelos testes de funcionamento e comunicação dos dispositivos escolhidos. A seleção dos símbolos a serem utilizados na comunicação do display foi um desafio enfrentado durante o processo. A Figura 66 apresenta o display que foi submetido a testes.



Figura 66 - Testes do display OLED.

Como já descrito em publicação específica sobre as dificuldades relacionadas à alimentação dos Gateways, definiu-se que as fontes deveriam ser instaladas dentro da caixa, visando uma conexão mais segura. Portanto, foi necessário abrir o invólucro original para melhor adaptação do espaço interno, como ilustrado na Figura 67.

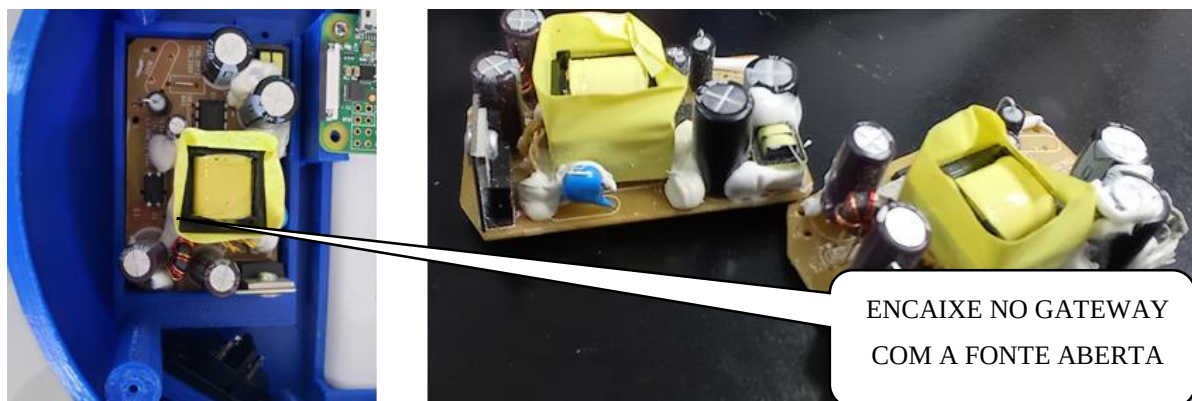


Figura 67 - Abertura e instalação das fontes.

Os testes dos sensores espectrais foram sujeitos a um período de adaptação de um sensor para outro, além de procedimentos de calibração das medidas obtidas em luxímetros padrões e do tratamento dos resultados dos dados nas fórmulas de iluminância (Figura 68).

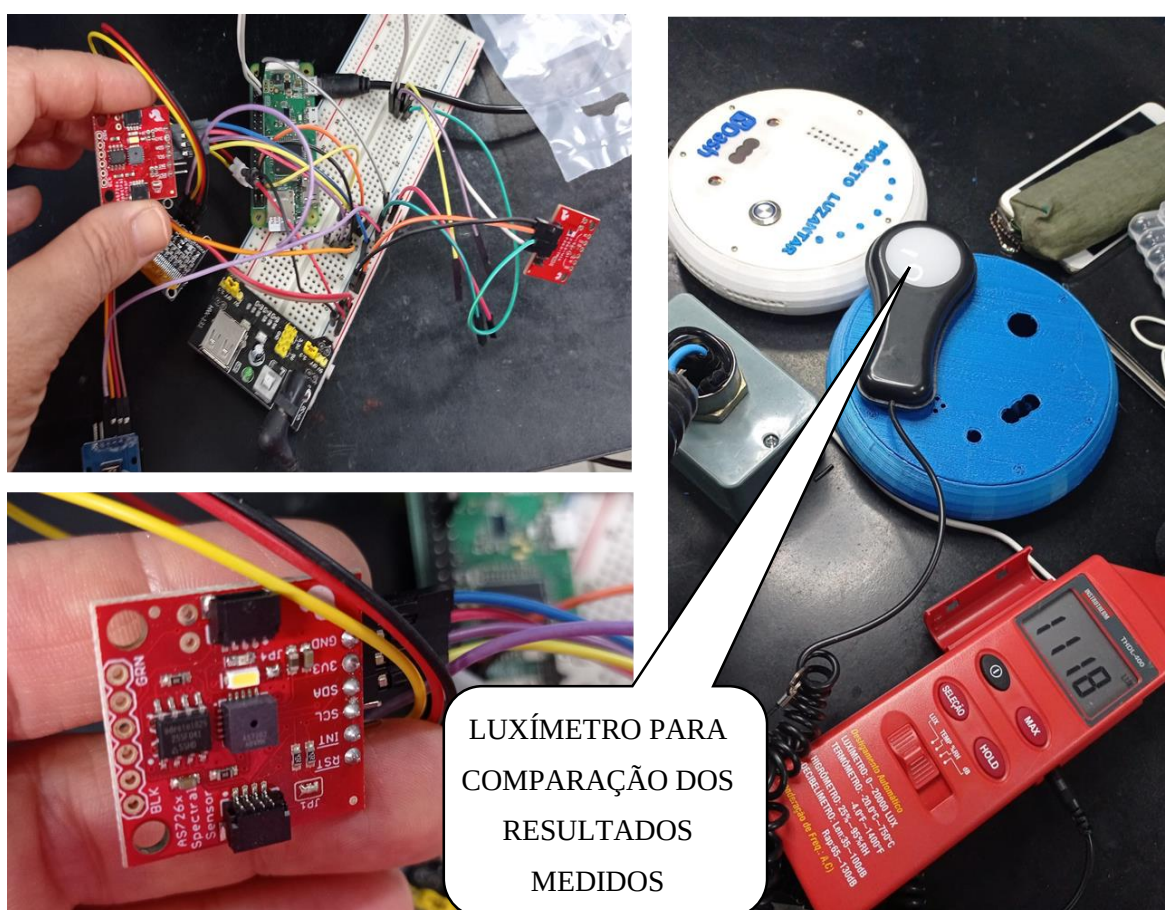


Figura 68- Testes dos sensores espectrais.

Foi possível criar uma caixa que abrigasse todos os dispositivos eletrônicos, com um design que pudesse lidar com as adversidades necessárias para o projeto, graças à disponibilidade de



equipamentos na Universidade que possibilitaram a modelagem das ideias. Os processos de impressão foram um pouco demorados, levando pelo menos 16 horas para imprimir cada caixa. Durante o processo de impressão, é importante destacar que, caso ocorresse uma interrupção, seria necessário reiniciá-lo desde o início. O processo pode ser visualizado na Figura 69.

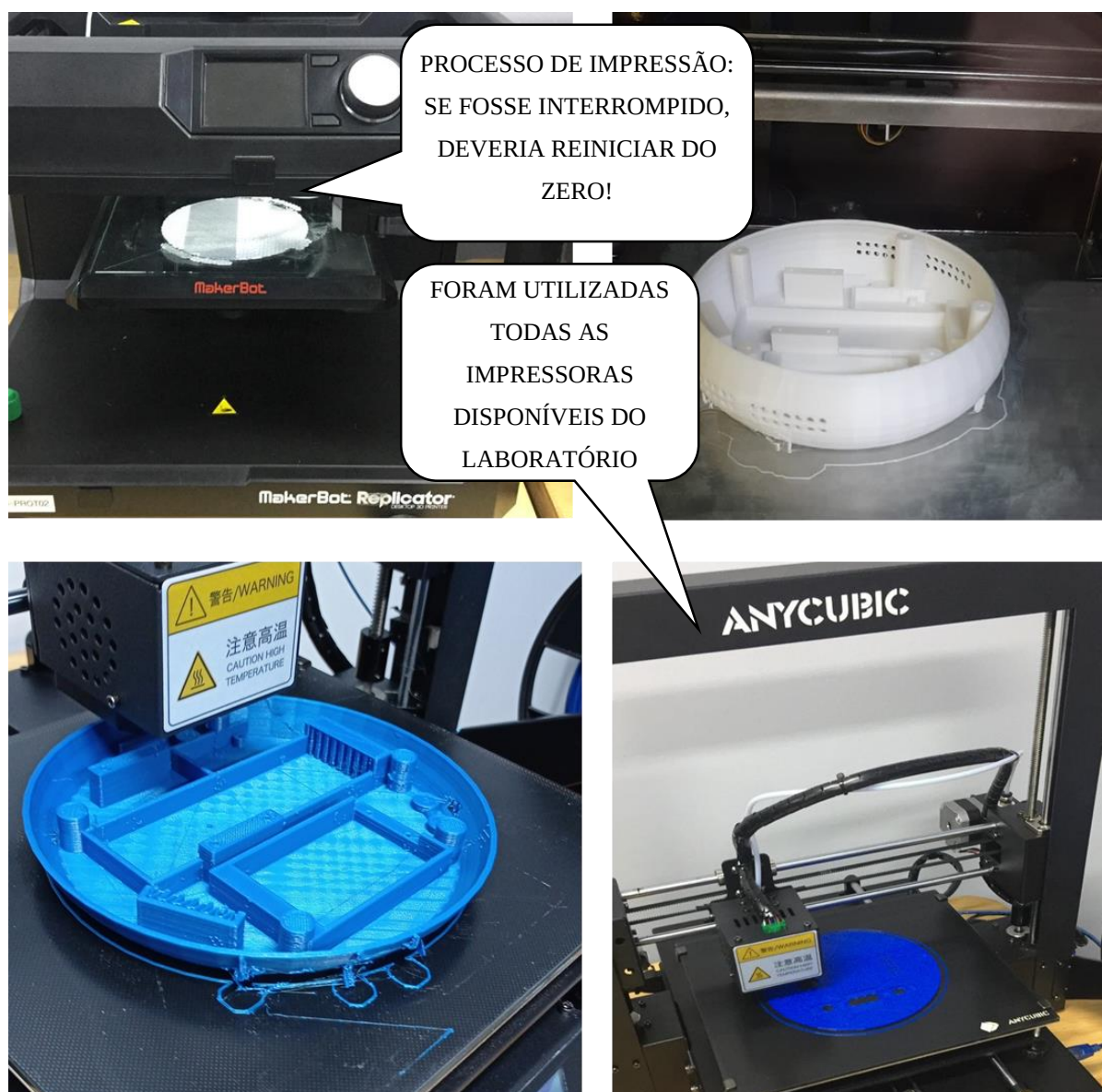


Figura 69 - Impressão 3D.

Na etapa de montagem do equipamento, em todas as versões, foram feitos ajustes finais no acabamento e era justamente nesse momento que surgiam as ideias de melhoria e aprimoramento para uma nova versão. Algumas dessas imagens na Figura 70, mostram, em específico, momentos de reflexões como o botão de liga-desliga, rasgos de ventilação, encaixe dos dispositivos, e a equipe no laboratório de prototipagem.

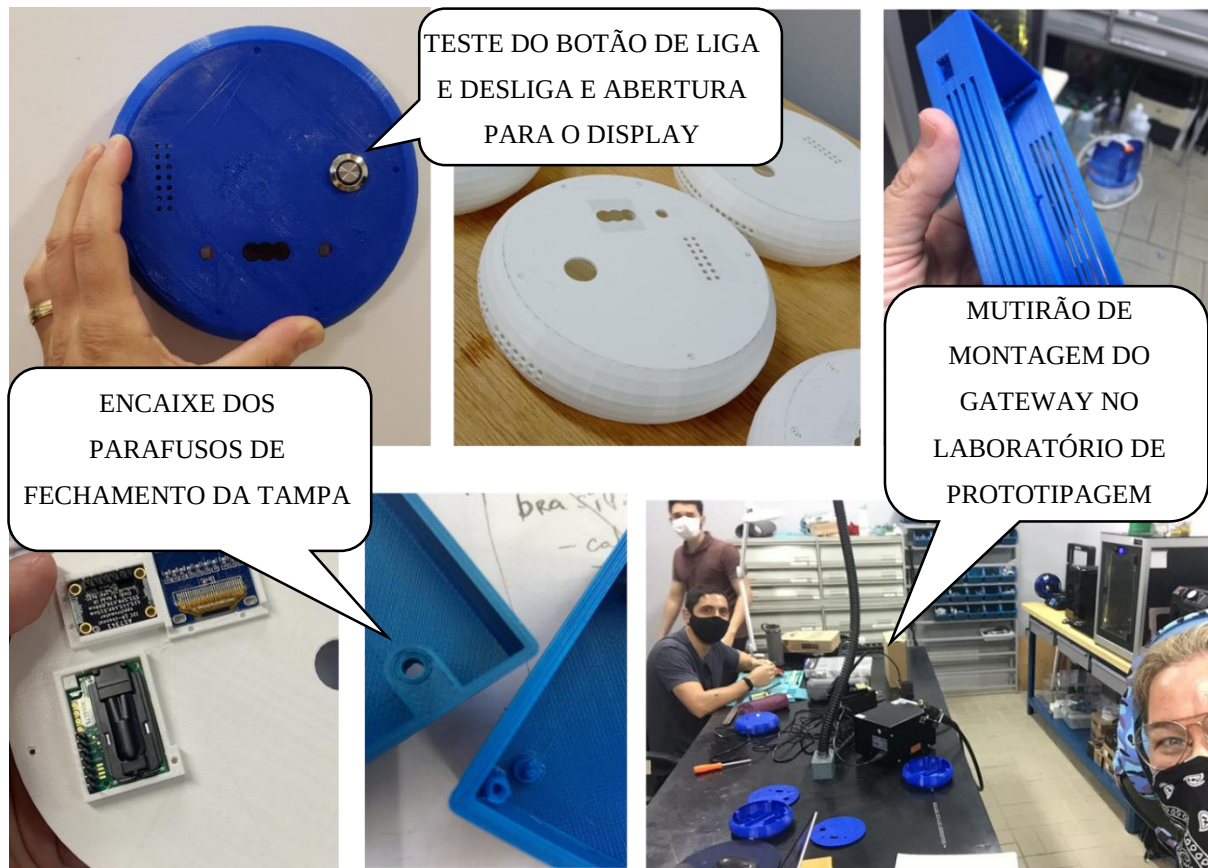


Figura 70 - Montagem do equipamento.

Na Figura 71 é possível visualizar em detalhe a placa Raspberry e as conexões feitas por cabeamento e solda. Apesar de parecer simples, o processo de solda exige muita atenção e precisão conforme pode ser visualizado na Figura 72. No processo, muitas soldas deram errado, trabalhar na escala dos dispositivos requer, muitas vezes, ferramentas específicas.

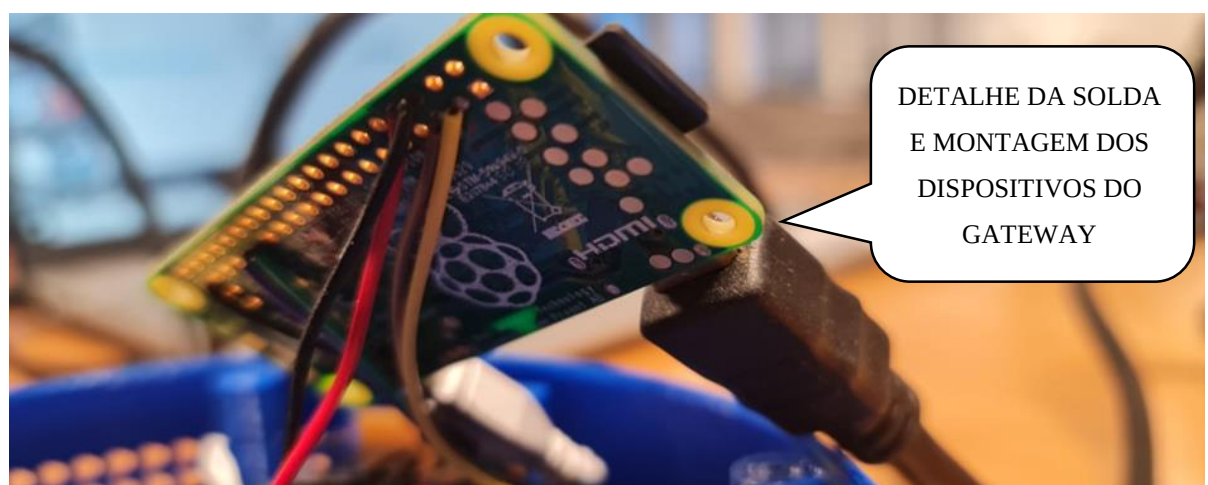


Figura 71 - Conexão da Raspberry.



Figura 72 - Solda das conexões.

As imagens da confecção da placa reguladora de tensão na Figura 73, apresentam o material na impressora de corte. Participar dessa produção vai além da montagem do produto, criado para ser econômico: é possível visualizar os pormenores envolvidos numa produção de equipamentos, e que sempre pode-se utilizar a tecnologia em cada detalhe da produção, onde as máquinas passam a protagonizar e substituir o trabalho manual, melhorando os detalhes e qualidade do produto final.

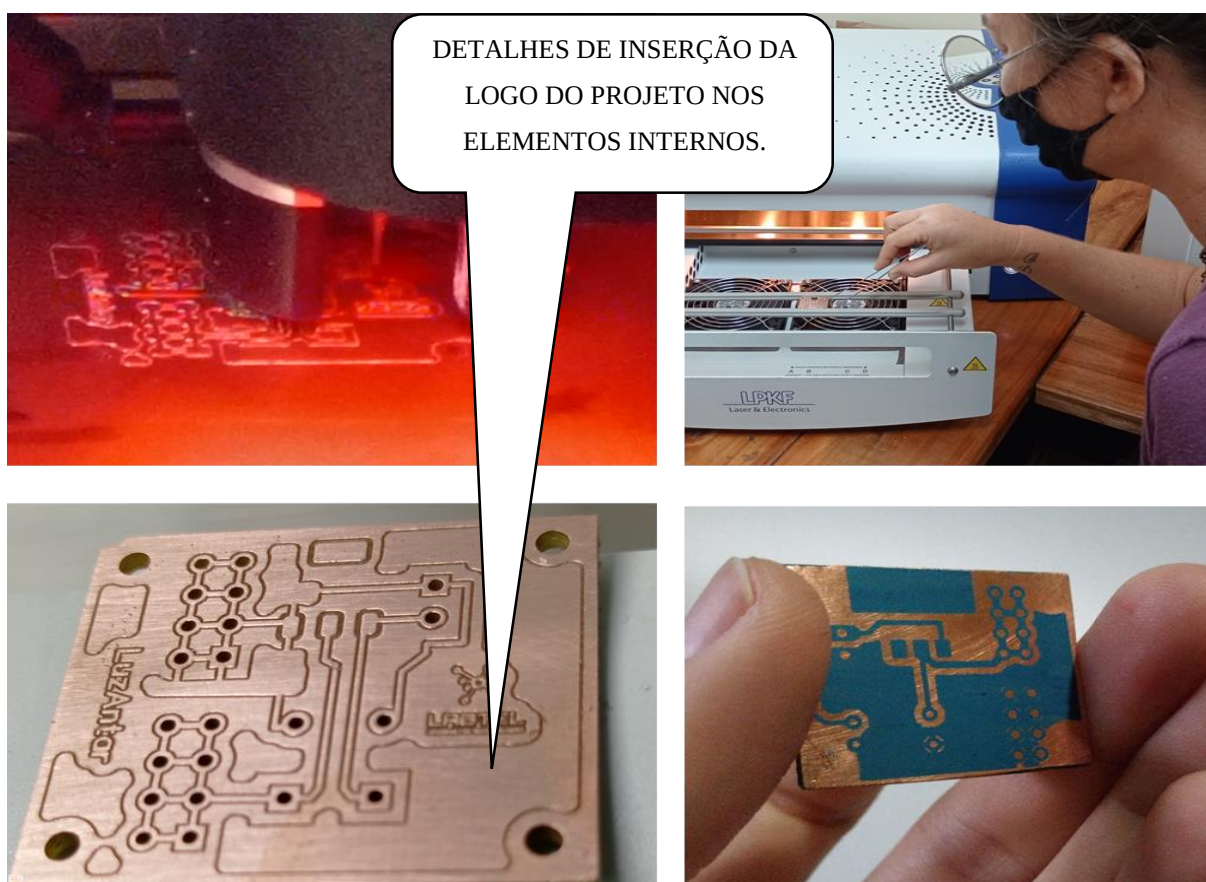


Figura 73 - Confecção da placa reguladora de tensão



Transformar o produto em algo apresentável, com marcas de identificação, é uma tarefa simples, porém, assim como a soldagem, exige precisão e paciência, especialmente no processo manual. Detalhes como esses conectam o equipamento desenvolvido ao mundo dos produtos comercializáveis, gerando confiança na relação dos voluntários com o projeto e transmitindo a ideia de seriedade da pesquisa. O processo de separação das pequenas letras e símbolos de identificação e sua colagem individual pode ser visualizado na Figura 74.



Figura 74 - Colagem da logo e identificação dos Gateways

O teste das pulseiras inteligentes, as quais funcionavam como sensores externos ao Gateway foram uma rotina no processo, pois, como o *software* desenvolvido funcionava em paralelo com o próprio *software* do fabricante, muitas vezes o voluntário executava comandos que desconfiguravam as pulseiras. A identificação por número de série foi a solução para associação das pulseiras com os voluntários designados. Outros problemas relacionados com bateria, mau funcionamento ou defeitos do fabricante também exigiam um constante teste da pulseira MIBAND, conforme ilustra a Figura 75.



Figura 75 - Teste das pulseiras inteligentes

Imagens do kit da primeira versão enviada para teste *in loco* (Figura 76).

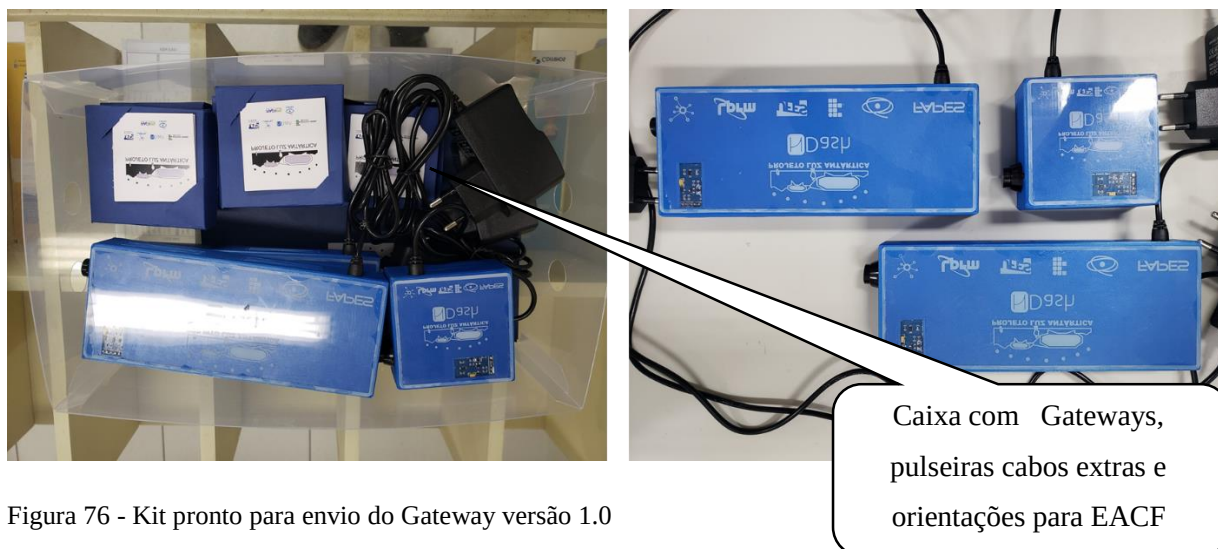


Figura 76 - Kit pronto para envio do Gateway versão 1.0

O formato redondo foi apresentado com um conjunto de três Gateways iguais nas versões 2.0 e 2.1, conforme Figura 77.



Figura 77 - Kits pronto e montagem finalizada do Gateway, versões 2.0 e 2.1

No inverno a localidade da EACF fica completamente isolada no acesso por água, a baía congela e a única forma de entregar suprimentos é aérea. Na Figura 78, foram extraídas imagens de um vídeo feito pelo grupo base acompanhando a chegada de suprimentos e de equipamentos para a manutenção dos Gateways instalados.



Figura 78 - Paraquedas com carga de reabastecimento da EACF no inverno com equipamentos de reposição do Gateway inclusos. Foto: Grupo base 2019-2020

Finalmente, com tudo montado, testado e despachado para os locais dos estudos de caso, havia ainda o teste posicionamento dos Gateways nos locais de medições. Como já relatado, em alguns casos tiveram que se adaptar às possibilidades e dificuldades locais inerentes dos ambientes escolhidos. A Figura 79 ilustra essa etapa.



Figura 79 - Teste posicionamento dos Gateways nos dois estudos de caso (EACF e EAMES)



Diagramas Cosinor individuais

Seguem as imagens dos diagramas dos voluntários EACF selecionados dentro do intervalo de confiança estabelecido. As medidas dos voluntários que ficaram fora do Valor-P, foram excluídos da Cosinor do Grupo.

A. EACF – subprojeto LUZANTAR

Os diagramas válidos utilizados para o grupo EACF de verão (Figura 80) foram um número de 4 voluntários, com respostas à rotina bem parecidas, com exceção de um utilizador que teve menos atividades no período, talvez alguém com responsabilidades menos dinâmicas, contudo, é o voluntário que dorme melhor, pode-se notar, como a parte negativa da curva, na Figura 80 (d), está mais abaixo que a mesma marca dos outros voluntários.

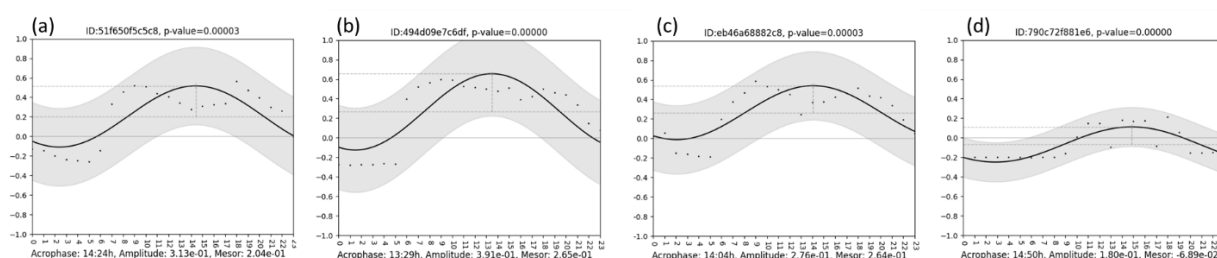


Figura 80 - Cosinor individuais EACF verão

O outono foi um mês que apresentou a maior presença dos voluntários participantes (Figura 81), juntando os dois anos de medições foi possível agrupar um “n” de 8 voluntários válidos, o grupo apresentou-se bem heterogêneo, com o início do período de internada na Estação, já partiram os navios de apoio e todos, cada um à sua maneira, se preparam para o período de isolamento de alguns meses a que iriam se submeter. Também é o período que a pesquisa iniciou, com o número total de adesões e todas as pulseiras ainda em funcionamento.

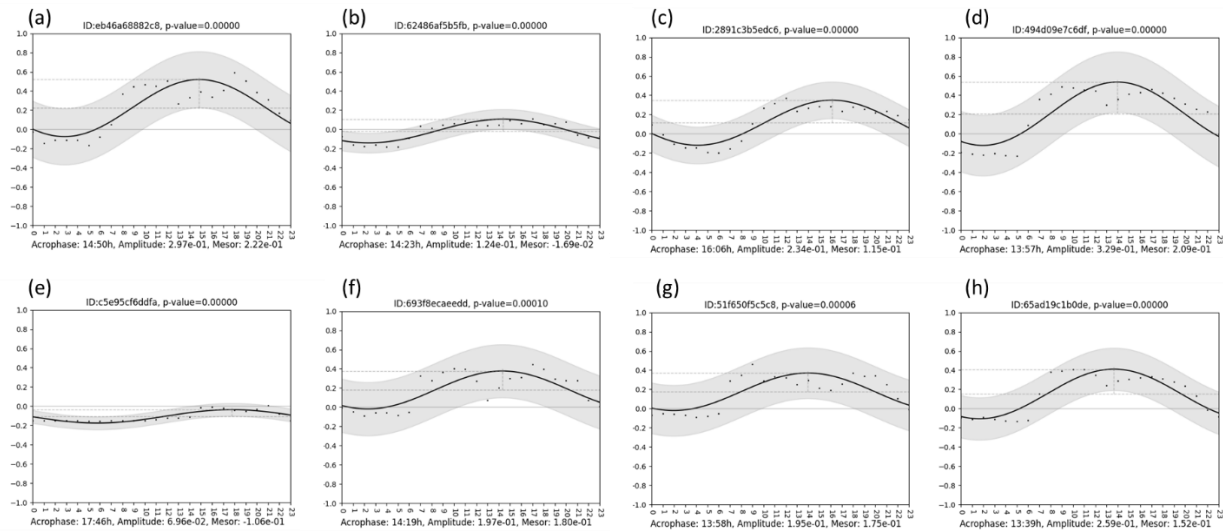


Figura 81 - Cosinor individuais EACF outono.

A Figura 82 apresenta as respostas de atividade e sono do período de inverno da EACF, o que é bem curioso é que os voluntários estão com rotinas similares, e um nível de atividade e qualidade do sono homogêneos.

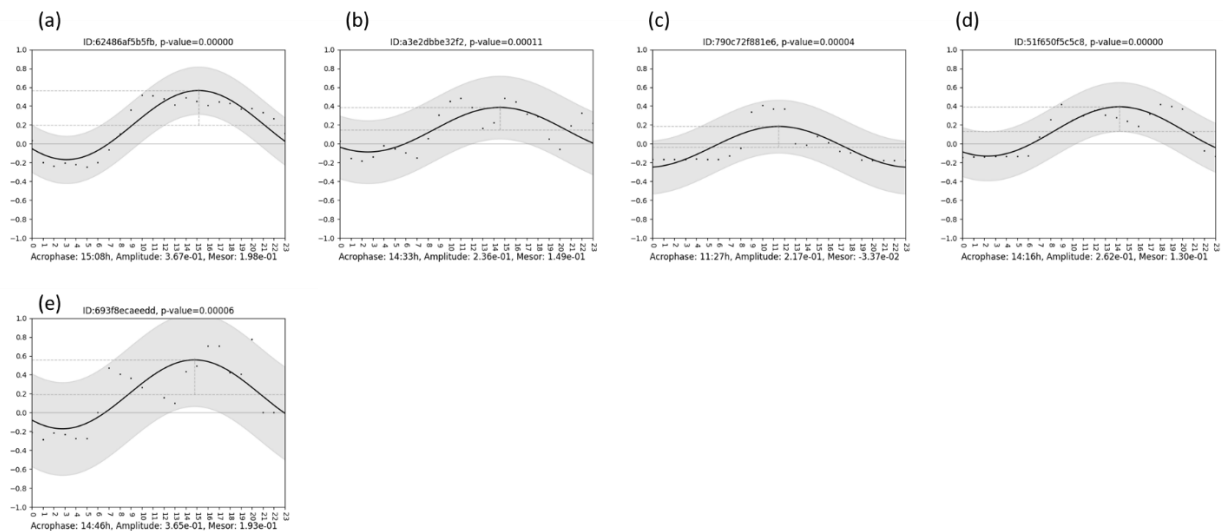


Figura 82 - Cosinor individuais EACF inverno.

A resposta do corpo humano aos desafios de se preparar para a volta à civilização após o período de isolamento estão retratados na Figura 83. Os diagramas válidos apresentam dados bem heterogêneos, e essa diversidade de respostas evidencia que cada indivíduo assimila as responsabilidades individuais de uma forma diferente do outro. Alguns mantêm um nível alto de atividade outros permanecem mais sedentários, com pouca atividade física.

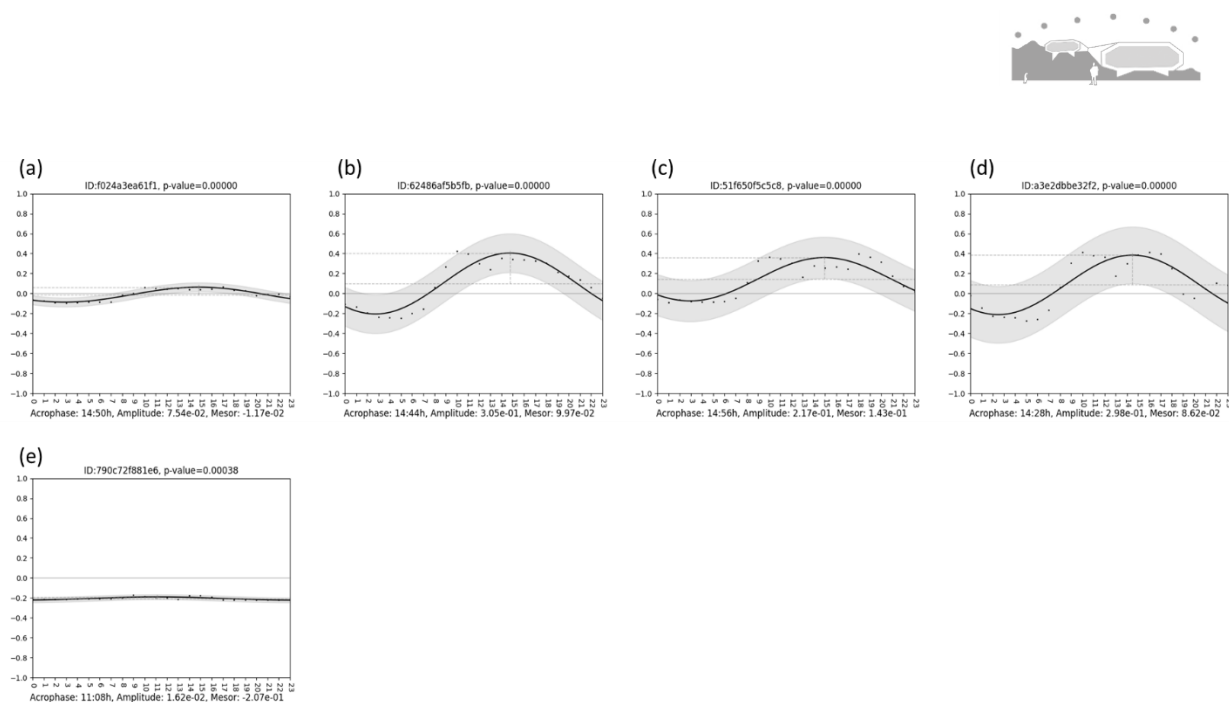


Figura 83 - Cosinor individuais EACF primavera.

Esses diagramas foram agrupados em medias por estações e utilizados nos gráficos das respostas humanas apresentados no trabalho em resultados.

B. EAMES – subprojeto LUZEAMES

Os diagramas válidos utilizados para o grupo do subprojeto LUZEAMES seguem os mesmos critérios de seleção: dentro do intervalo de confiança estabelecido (Valor-P).

Os diagramas de verão (Figura 84), assim como na EACF, coincidentemente foram um “n” de 4 voluntários, com respostas à rotina bem parecidas, com exceção de um utilizador que teve menos atividade física no período, evidente na Figura 84 (c).

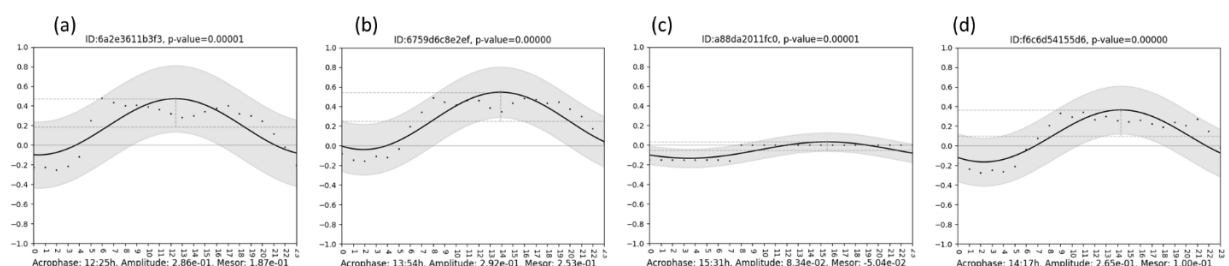


Figura 84 - Cosinor individuais EAMES verão

Já nos diagramas de outono (Figura 85) existe uma heterogeneidade mais evidente nos resultados, influenciando bastante na média total, como mencionado no texto, houve um



problema técnico no recolhimento dos dados, muitos voluntários parearam a pulseira inteligente com seus celulares e perdeu-se muitos dados. Logo o número de voluntários válidos, neste período ficou bem prejudicado. Esse fato de pareamento do relógio com o aplicativo específico do fabricante, recolhia os dados com prioridade e depois deletava do equipamento. Essa falha iniciou no verão, como se pode visualizar no quantitativo de dados válidos e só foi identificada e reparada no fim do outono.

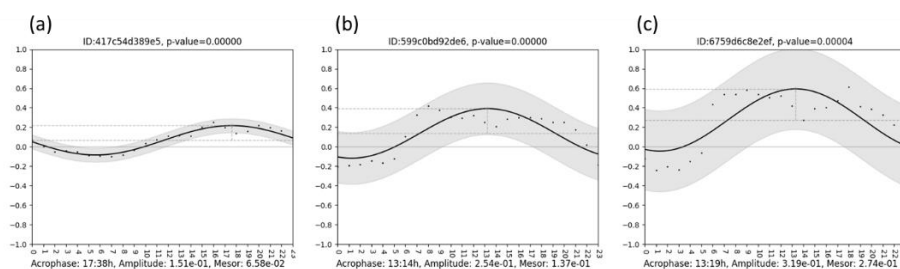


Figura 85 - Cosinor individuais EAMES outono

Após a identificação do problema com a ausência de dados, os voluntários foram orientados a deletar o aplicativo e os relógios voltaram a parear com o Gateway, logo percebe-se o número de adesão “n” bem superior aos períodos anteriores e consequentemente a heterogeneidade dos dados evidente, conforme Figura 86.

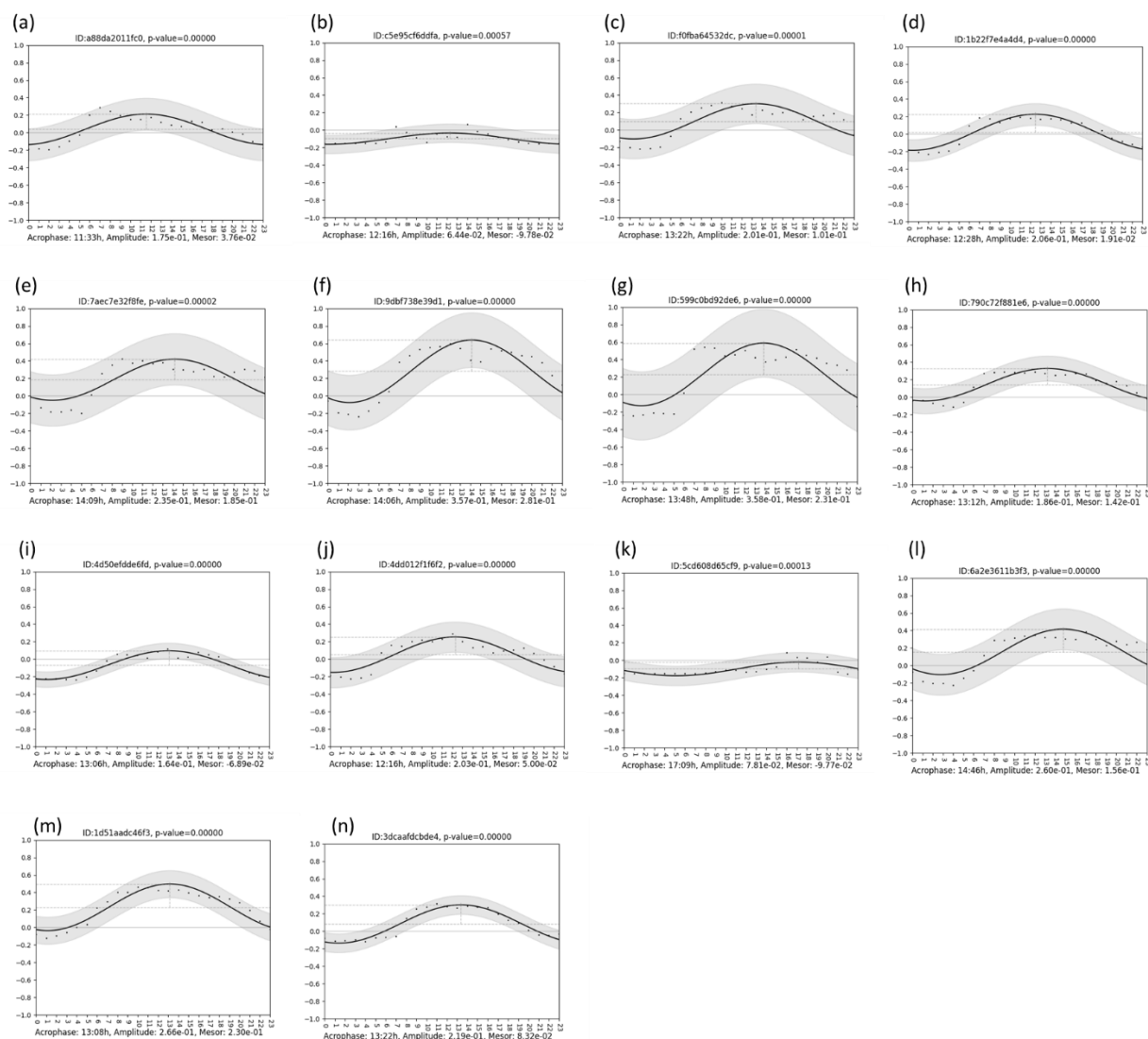


Figura 86 - Cosinor individuais EAMES inverno

O período de primavera (Figura 87) dos dados coletados do subprojeto LUZEAMES marca o início da pesquisa, com todos os voluntários engajados e equipamentos testados. Percebe-se que temos vários tipos de Cosinor individuais, pessoas mais ativas com amplitudes do gráfico mais acentuadas, como demonstram por exemplo os voluntários (g), (i), (k) e (n) e pessoas mais sedentárias, que não fazem atividades físicas mais intensas, como (c), (e), (f) e (l), contudo um grupo com um “n” maior, é sempre positivo: apresenta mais dados do perfil dos participantes e oferece uma média mais representativa do comportamento monitorado.

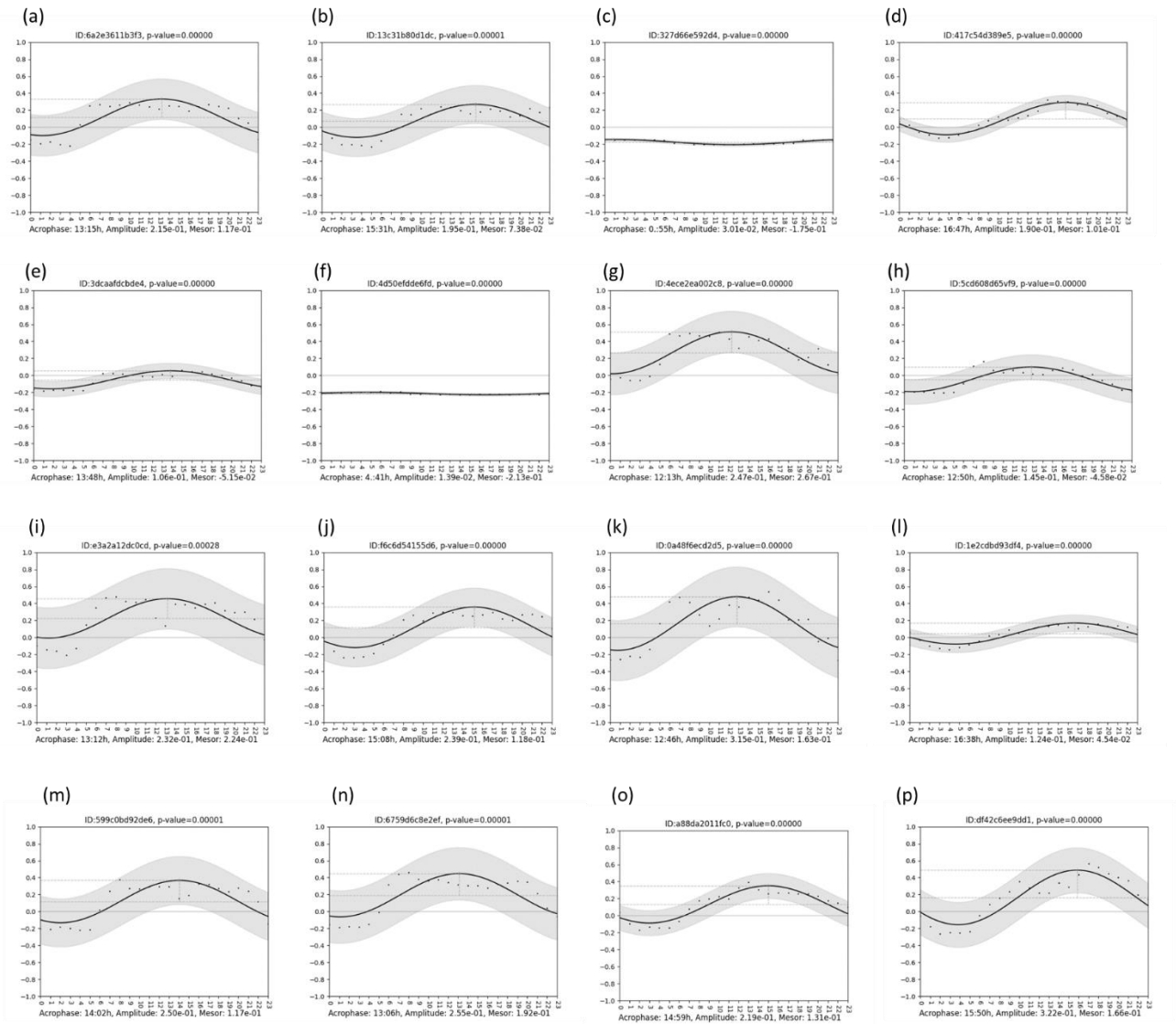


Figura 87 - Cosinor individuais EAMES primavera.