

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Departamento de Engenharia Elétrica e Computação

ERLAN VIEIRA CAVALCANTI CARVALHO

**Construção e análise de um equipamento bioeletrográfico:
avaliando uma alternativa rápida, não-invasiva e portátil
para pré-diagnósticos *in loco*.**

São Carlos

2017

ERLAN VIEIRA CAVALCANTI CARVALHO

Construção e análise de um equipamento bioeletrográfico: avaliando uma alternativa rápida, não-invasiva e portátil para pré-diagnósticos *in loco*.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao departamento de
Engenharia Elétrica e Computação da
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e
Automação

Área de concentração: Alta tensão,
imagens em alta tensão, descarga
corona induzida

Orientador: Prof. Edson Gesualdo

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C331c Carvalho, Erlan Vieira Cavalcanti
 Construção e análise de um equipamento
 bioeletrográfico: avaliando uma alternativa rápida,
 não-invasiva e portátil para pré-diagnósticos in loco /
 Erlan Vieira Cavalcanti Carvalho; orientador Edson
 Gesualdo. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
enfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2017.

1. Bioeletrografia. 2. Efeito Kirlian. 3.
Fotografia da descarga corona. 4. Imagens em alta
tensão. 5. Ionização de gases e vapores. 6. Diagnóstico
automatizável. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Erlan Vieira Cavalcanti Carvalho

Título: "Construção e análise de um equipamento bioeletrográfico - avaliando uma alternativa rápida, não-invasiva e portátil para pré-diagnósticos in loco"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 25/10/2017,

com NOTA 10,0 (dez, zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Assistente Edson Gesualdo - SEL/EESC/USP

Profa. Dra. Maria Stela Veludo de Paiva - Sênior - SEL/EESC/USP

Prof. Associado Luís Fernando Costa Alberto - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Dedico este trabalho

À Ciéncia humanista e moralizada que floresce em nosso século.

Aos amantes do conhecimento que buscam utilidade e equilibrio na Vida e nas relações.

AGRADECIMENTOS

Aos que são – ou que um dia serão, no infinito que nos resta – amigos do bem e do belo, agradeço intimamente.

Aos familiares e amigos que tenho encontrado e reencontrado, de tantas maneiras, agradeço explicitamente – pelo apoio, a paciência e a força que me têm dado, ajudando-me a desbloquear e canalizar as forças do intelecto e do sentimento.

Aos impulsos e apelos antagônicos e desmotivadores que nos chegam, de fontes diversas, agradeço também, por reforçarem-me a persistência e a vontade rumo a uma melhor compreensão.

“Se foi tão difícil derrubar esses antiquados muros -
de ignorantes clericais,

Por que a pressa em cercarem-se de novo,
em velhos dogmas materiais?

A poeira do presente deve ser varrida...
pra lá do centro do horizonte...

Quem ajuíza daí, sem Ciência,
sobre a coerência de nula Fonte?

Precipitados..., ouçam! Nem crença, nem negação!

Aprendam com o passado...

O futuro não mora ao lado...

A semente vira árvore, enterneida em maldição!”

O Autor

“- *Psicoscópio? Que novo engenho vem a ser esse?*

- É um aparelho a que intuitivamente se referiu ilustre estudioso da fenomenologia espirítica, em fins do século passado. Destina-se à auscultação da alma, com o poder de definir-lhe as vibrações e com capacidade para efetuar diversas observações em torno da matéria – esclareceu Áulus, com leve sorriso. – Esperamos esteja, mais tarde, entre os homens. Funciona à base de eletricidade e magnetismo, utilizando-se de elementos radiantes, análogos na essência aos raios gama. É constituído por óculos de estudo, com recursos disponíveis para a microfotografia.

[...] Se o espectroscópio permite ao homem perquirir a natureza dos elementos químicos, localizados a enormes distâncias, através da onda luminosa que arrojam de si, com muito mais facilidade identificaremos os valores da individualidade humana pelos raios que emite. A moralidade, o sentimento, a educação e o caráter são claramente perceptíveis, através de ligeira inspeção”. (XAVIER; VIEIRA, 2007{1955}, p. 22-24)

RESUMO

CARVALHO, E. V. C. **Construção e análise de um equipamento bioeletrográfico:** avaliando uma alternativa rápida, não-invasiva e portátil para pré-diagnósticos *in loco*. 2017. 150p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

A técnica bioeletrográfica (foto Kirlian) é o registro e análise da descarga corona induzida em um organismo visando obter-se-lhe informações. Submetendo-se um organismo (ou parte dele) a pulsos de alta tensão (AT), analisa-se a geometria da descarga, a luz emitida e a correlação entre variações nestes parâmetros com alterações fisiológicas no organismo. Neste trabalho, analisou-se interpretações usuais de imagens Kirlian e compilou-se fundamentos que embasam interpretações mais seguras. Para tanto, recapitulou-se a teoria eletromagnética moderna, que possibilita a correlação entre a composição química de um organismo e a radiação que este emite, podendo ser natural (radiação térmica) ou estimulada mediante aplicação de um campo eletromagnético, como usual na bioeletrografia. Recapitulou-se também o processo de formação dessas imagens Kirlian, já explicado por outros autores. Em seguida, construiu-se um equipamento bioeletrográfico capaz de produzir imagens em formato digital, obtendo-se algumas imagens para análise. Para gerar a alta tensão de alta frequência utilizou-se uma bobina de ignição automotiva. Um terminal isolante transparente, com um lado recoberto por óxido de índio-estanho (*ITO – Indium Tin Oxide*), condutor, foi utilizado tanto como dielétrico, isolando o objeto e o terminal AT, quanto como terminal terra (superfície recoberta), melhorando a perspectiva da captura digital da descarga corona, como eletrodo transparente. Utilizou-se uma câmera fotográfica digital (CCD), ajustando-se-lhe a sensibilidade e a velocidade de captura, para registrar o aspecto fractal das descargas coronas. Extraiu-se as componentes RGB de algumas imagens e fez-se alguns ajustes para melhor visualização, via software (MATLAB). Os registros obtidos foram satisfatórios e confirmou-se algumas afirmações encontradas na literatura. Por fim, dois métodos de pesquisa, por abordagens distintas, foram propostos para a delimitação, padronização e automatização de um equipamento bioeletrográfico, para testar sua eficácia como método de diagnóstico *in loco*, “por exclusão” e por análise espectral.

Palavras-chave: Bioeletrografia. Efeito Kirlian. Fotografia da descarga corona. Imagens em alta tensão. Ionização de gases e vapores. Diagnóstico automatizável.

ABSTRACT

CARVALHO, E. V. C. **Analysis and manufacture of a bioelectrographic equipment:** evaluating an express, non-invasive and portable alternative to pre-diagnoses *in loco*. 2017. 150p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

The bioelectrographic technique (Kirlian photography) is the capture and analysis of an induced corona discharge in an organism to obtain informations about it. By applying high voltage (HV) in an organism (or in some particularly region), the discharge geometry is analyzed along with the light emitted, pursuing correlations between changes in these parameters with changes in its physiological status. In this work, we analysed some popular interpretation of Kirlian images and synthesized elements that enable more accurate interpretations. To do that, the modern electromagnetic theory was reviewed, which is the correlational basis between an object's chemical composition and its spectral radiation, that can be natural (thermal radiation) or induced by an applied electromagnetic field, as usual in bioelectrography. We also reviewed the image forming process in Kirlian photography, which others academics already explained. Then we built a bioelectrographic equipment, capable of producing digital images. To produce high frequency high voltage signals, we used an automotive ignition coil. A transparent insulating terminal, with one side coated with Indium Tin Oxide (ITO), was used both as dielectric, isolating the object and the HV electrode, and as a ground connection (coated surface), improving the corona digital photography perspective, as a transparent electrode. We used a Charge-Coupled Device (CCD) camera and set its configurations for more appropriated speed and sensitivity to enhance the fractality of coronas discharge. The RGB components of some images was extracted and enhanced for a better visualization of its characteristics, with a software developed in a MATLAB platform. The images obtained were considered satisfactory and, through this work, we some verified some conclusion made by others authors. At the end of this work, it is proposed two research methods, with distinct approaches, to delimitation, standardization and automation of a bioelectrographic equipment to test its efficacy as a method of *in loco* diagnosis, “by exclusion” and by spectral analysis.

Keywords: Bioelectrography. Kirlian photography. Gas discharge visualization. Corona discharge photography. High voltage images. Automatable diagnostics;

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Alta tensão
BO	Biological object (objeto biológico)
BT	Baixa tensão
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CCD	Charge-Coupled Device
EPC	Electro-photon capture
FDLJC	Faculdade Doutor Leocádio José Correia
GDV	Gas Discharge Visualization
IBPP	Instituto Brasileiro de Pesquisas Psicobiofísicas
ISO	Organização Internacional de Normalização
ITO	Óxido de índio-estanho (Indium Tin Oxide)
IUMAB	International Union of Medical and Applied Bioelectrography
QFT	Quantum Field Theory
RGB	Componentes vermelha (Red), verde (Green) e azul (Blue) de uma imagem
TCO	Óxido condutor transparente (Transparent Conducting Oxide)
UCLA	University of California – Los Angeles
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
URB	Universidade Regional de Blumenau
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta

LISTA DE SÍMBOLOS

ν	frequênciada onda eletromagnética [Hz]
T	temperatura [Kelvin]
ρ_ν	densidade de energia emitida a uma temperatura T , entre frequências ν e $\nu + d\nu$
R	constante universal dos gases
N_A	número de Avogrado [$6,023 * 10^{23} \text{ mol}^{-1}$]
nm	nanômetro (10^{-9} metros)
sr	esferoradianos
B_λ	radiância espectral [$W m^{-3} sr^{-1}$]
λ	comprimento de onda [m]
h	constante de Planck [$6.626075 * 10^{-34} \text{ Js}$]
c	velocidade da luz no vácuo [$3 * 10^8 \text{ ms}^{-1}$]
k_B	constante de Boltzmann [$1.3806503 * 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$]
$\lambda_{\text{máx}}$	comprimento de onda em que a intensidade emitida é máxima [m]
E	energia [J]
\mathbf{P}	momento linear, de módulo P [Kgms^{-1}]
\mathbf{L}	momento angular, de módulo L [$\text{Kgm}^2 \text{s}^{-1}$]
\hbar	constante de Planck reduzida, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ [Js]
E_n	energia do elétron na camada n [J]
m_r	massa reduzida do sistema (que oscila em torno do centro de massa) [Kg]
e	carga elétrica fundamental [$1.60217653 * 10^{-19} \text{ C}$]
Z	número atômico
ϵ_0	permissividade elétrica do vácuo [$8.85418782 * 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$]

n	número quântico principal (referente à camada da eletrosfera)
m_p	massa intrínseca (de repouso) do próton [$1.67262177 * 10^{-27} \text{ Kg}$]
m_e	massa intrínseca (de repouso) do elétron [$9.10938356 * 10^{-31} \text{ Kg}$]
Ψ	função de onda de um sistema quântico
l	número quântico orbital (referente ao momento angular orbital)
a_0	raio de Bohr ($a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_re^2}$) [m]
m_l	número quântico magnético (referente ao momento magnético orbital)
m_s	número quântico de spin (referente ao momento magnético de spin)
I_o	corrente de fuga saturada [A]
p	pressão [Nm^{-2}]
d	distância [m]
V_S	tensão de ruptura dielétrica [V]
ρ	densidade [Kgm^{-3}]
α	primeiro coeficiente de ionização de Townsend [m^{-1}]
I_α	corrente média no estágio de avalanche primária de Townsend [A]
γ	segundo coeficiente de ionização de Townsend
E_{L1}	tensão ou força eletromotriz induzida no indutor 1 (mesmo que E_{BT})
μ_0	permeabilidade magnética do vácuo
n_{BT}	densidade de espiras da bobina de baixa tensão
l_{BT}	comprimento do indutor de baixa tensão
μ_{Fe}	permeabilidade magnética relativa do ferro
A_{BT}	secção transversal do indutor de baixa tensão
i_{BT}	corrente elétrica no indutor de baixa tensão
λ_{BT}	fluxo magnético concatenado pelo circuito de baixa tensão
N	número de espiras em uma bobina

T_{ON} duração do intervalo de condução de corrente no transístor

T_{OFF} duração do intervalo de corte de corrente no transístor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	28
2. REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1 ÁREA – RUPTURA DIELÉTRICA EM NÍVEL MICRO E MACROSCÓPICO	29
2.2 ÁREA – FORMAÇÃO DAS IMAGENS KIRLIAN E FATORES PERTURBATIVOS.....	33
2.3 ÁREA – APLICAÇÕES, ESTUDOS DE CASO E TESTES DE DIAGNOSE	36
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	39
3.1 TEORIA DE FORMAÇÃO DAS CORES	39
3.1.1 Células fotossensíveis do olho humano	39
3.1.2 Cones e bastonetes – sensibilidade e especificidade dos circuitos ópticos	42
3.1.3 O processo foto-químico-neural que resulta em um estímulo visual	44
3.1.4 Considerações finais relacionadas à bioeletrografia	46
3.2 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA	46
3.2.1 Radiação térmica e o espectro de um corpo negro	47
3.2.2 O fóton e o modelo atômico moderno	48
3.2.3 Regras de seleção, taxas de transição e estados metaestáveis	56
3.2.4 Considerações finais relacionadas à bioeletrografia	59
3.3 RUPTURA DIELÉTRICA EM GASES	59
3.3.1 Ionização natural	59
3.3.2 Visão geral da ruptura dielétrica	60
3.3.3 Lei de Paschen	62
3.3.4 Mecanismo de Townsend – avalanche primária	63
3.3.5 Mecanismo de Townsend – avalanches secundárias	65

3.3.6	Interações sucessivas	67
3.3.7	Mecanismo <i>streamer</i>	68
3.4	DESCARGA CORONA	70
3.4.1	Características gerais de uma descarga corona	70
3.4.2	Brilho e coloração de uma descarga corona	71
3.4.3	Impactos causados por descargas coronas	74
4.	PROCEDIMENTOS, MONTAGENS E RESULTADOS	79
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	79
4.2	PRODUZINDO ALTA TENSÃO DE ALTA FREQUÊNCIA	81
4.2.1	Detalhes de uma bobina de ignição automotiva	81
4.2.2	Métodos de cálculo e simulação do circuito	83
4.3	CIRCUITO, TESTES E OTIMIZAÇÕES	86
4.3.1	Teste 1	86
4.3.2	Teste 2	88
4.3.3	Teste 3	92
4.3.4	Teste 4	102
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
4.4.1	Resultados da análise empírica	108
4.4.2	Resultados da compreensão teórica	109
5.	DISCUSSÕES	111
5.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EMPÍRICOS	111
5.2	ANÁLISE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	113
5.3	NOVAS PERSPECTIVAS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	116
6.	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIAS	121

APÊNDICE A – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA BIOELETROGRAFIA	129
A.1 DESCOBERTAS INICIAIS	129
A.2 O INÍCIO DE UMA NOVA ÁREA DE PESQUISA	133
A.3 A BIOELETROGRAFIA E O MÉTODO CIENTÍFICO	139
A.4 TRABALHOS INFORMAIS MAIS RELEVANTES (NÃO ACADÊMICOS)	142
APÊNDICE B – TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA CINÉTICA ENTRE MOLÉCULAS	147
APÊNDICE C – CÓDIGO PARA MATLAB – EMISSÃO ESPECTRAL DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO	151
APÊNDICE D – CÁLCULO DA FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA	153
APÊNDICE E – CÓDIGO PARA MATLAB – EXTRAINDO COMPONENTES RGB DE UMA IMAGEM	157
APÊNDICE F – CÓDIGO PARA MATLAB – ALTERANDO O CONTRASTE DE UMA IMAGEM	159
APÊNDICE G – CÓDIGO PARA MATLAB – TRANSFORMADA DE FOURIER PARA ESTIMAR ALTA TENSÃO EFETIVA, CONSIDERANDO PERDAS NO NÚCLEO.....	161

1 INTRODUÇÃO

A bioeletrografia, também conhecida como foto Kirlian, *Gas Discharge Visualization* (GDV), *Corona Discharge Photography* (CDP), entre outros nomes¹, é o registro da descarga corona induzida em volta de um objeto. Deste registro, faz-se a análise da imagem formada, com o propósito de extrair informações sobre o estado do organismo (BAN'KOVSKIY; KOROTKOV; PETROV, 1986; BOYERS; TILLER, 1973; GADSBY, 1993; LEE; FUNG; MARKUS, 1996).

Por este método **hipotetiza-se** que, além de **informações elétricas e mecânicas**², a imagem formada pode conter informações sobre o **estado biológico** (ATZINGEN, 2013; BAN'KOVSKIY; KOROTKOV; PETROV, 1986; QUIJANO-KRUGER; CÂMARA, 2008), **fisiológico** (ALEXANDROVA et al., 2004; COUTINHO, 1990; GROTT; GROTT, 1987; YAKOVLEVA et al., 2016), e, quando um ser humano for o sistema em análise, informações sobre o **estado emocional** (IGNATTI, 2006; MILHOMENS, 2000) e **psíquico** (KOROTKOV et al., 2010b; KOSTYUK et al., 2010).

Pesquisadores tem tentado validar a aplicação da técnica bioeletrográfica para diagnósticos clínicos, por ser um método de imageamento rápido³, não-invasivo, seguro e portátil e cuja análise mostra-se potencialmente automatizável, (ALEXANDROVA et al., 2004; BUNDZEN et al., 2005; GADSBY, 1993; HALKIAS; MARAGOS, 2004; KOROTKOV; KOROTKIN, 2001; KOROTKOV; POPECHITELEV, 2002; KOSTYUK et al., 2010; MOURA, 2000; POLUSHIN et al., 2009; YAKOVLEVA et al., 2016, etc.). A descarga corona em um meio é dependente de sua composição química, da distribuição local de cargas elétricas⁴ e do campo eletromagnético que houver⁵. Como objetos orgânicos afetam

¹ Ver nota 9 que indica a nomenclatura já encontrada sobre o tema.

² Características do objeto como resistividade, capacidade, fissuras internas, etc., também afetam a imagem formada (GADSBY, 1993; KOROTKOV; KOROTKIN, 2001; MERRILL; HIPPELL, 1939). A técnica pode ser aplicada, portanto, em corpos inorgânicos, com finalidades físicas e químicas, como a detecção de fissura interna em peças metálicas, ou geração de ozônio (BAN'KOVSKIY; KOROTKOV; PETROV, 1986).

³ Atualmente, a imagem é digital, portanto o tempo crítico é o de processamento da imagem, que varia com o software empregado e o computador usado.

⁴ Incluindo distribuição de cargas livres. Em escala molecular, a distribuição espacial de cargas elétricas é altamente dinâmica, espacial e temporalmente, sendo impraticável, até então, uma modelagem precisa passível de prever a geometria e energia instantânea das correntes coronas. Em escala macroscópica, é um conceito estatístico, dependente dos materiais envolvidos, da pressão e do gradiente de temperatura.

⁵ Ou seja, depende da intensidade e variação do campo elétrico, espacial e temporalmente.

estes três aspectos, principalmente pelo formato irregular e excreção metabólica⁶, a intensidade e geometria da descarga podem ser afetadas, assim como o espectro emitido, fornecendo um possível fator de correlação⁷ entre o estado íntimo do organismo e imagem registrada⁸ (BOYERS; TILLER, 1973; IGNATOV et al., 2015; KOROTKOV; KOROTKIN, 2001; KOROTKOV; POPECHITELEV, 2002; LIU et al., 2014; STAACK et al., 2005; YAKOVLEVA et al., 2016).

Ainda não há comprovação científica sobre a eficácia do uso da bioeletrografia para diagnose precoce de doenças. Mesmo assim, a técnica tem sido utilizada comercialmente, por entusiastas e pesquisadores, para diagnóstico físico, emocional e espiritual, sem maiores preocupações quanto à falta de respaldo teórico ou estatístico (BIOENERGIA, 2016; GADSBY, 1993; INSTITUTE, 2016; KOROTKOV, 2016b; MILHOMENS, 2000). Muitos pesquisadores persistem buscando este respaldo (GADSBY, 1993; KOROTKOV, 2010a; KOROTKOV, 2016b; MILHOMENS, 2000).

A proposta bioeletrográfica corrente está sintetizada em Korotkov e Pochechitelev (2002, p.25, tradução nossa, grifo nosso): “Diferentemente dos métodos convencionais de imageamento usados na medicina, **GDV é baseado em mudanças gerais e tratamento matemático de imagens multiparamétricas, ao invés de análises de imagens de estruturas anatômicas**”. A simplicidade em produzir-se as imagens bioeletrográficas atuais contrasta-se com a complexidade de padronizar alterações nelas observadas. Devido à dificuldade de executar a técnica em ambiente altamente controlado, o resultado está sujeito a variações do ambiente, do metabolismo, do equipamento e da operação do mesmo, prejudicando uma correlação precisa e que seja independente do equipamento bioeletrográfico utilizado (ATZINGEN, 2013; KIRLIANGRAFIA, 2016; PAIVA, 2010).

Outro ponto que tem atrasado o desenvolvimento desta técnica é a falta de compreensão dos fenômenos envolvidos e a diversidade de nomenclatura⁹ dificultando análises multidisciplinares e comparação sistemática de estudos e resultados.

⁶ Glândulas sudoríparas e sebáceas, por exemplo, produzem secreções continuamente, intimamente relacionadas ao funcionamento do corpo humano. Na superfície do dedo não há muitas glândulas sebáceas, porém há excreção sudorípara, por transpiração (água, ureia, íons metabólicos, etc.) e linfática, por difusão, além de escamação epidérmica e variação de temperatura (relevante, por ser uma extremidade do corpo).

⁷ As interações ocorrem devido à mudanças na composição e na dinâmica do meio a ser ionizado, afetando as transições eletrônicas, por absorção e emissão de fótons, portanto o espectro emitido e a geometria da descarga.

⁸ A imagem não necessariamente retratará as modificações, pois o sensor óptico opera em uma faixa limitada de intensidade e comprimentos de onda. Este é um dos fatores que pode ser facilmente otimizado.

⁹ Em trabalhos sob o tema, encontram-se diversos nomes (aqui citados em inglês): *Kirlian Photography*, *Kirlian Image*, *Kirlian effect*, *Kirliangraphy*, *Electrography*, *Bioelectrography*, *Electrophotography*, *Bioelectrophotography*, *Corona Discharge Photography (CDP)*, *Corona Discharge Visualization (CDV)*, *Images of Corona Discharge (ICD)*, *Gas Discharge Visualization (GDV)*, *Gas Discharge Image (GDI)*, *Gas*

Antes que houvesse um consenso científico sobre a formação das imagens Kirlian, muito se especulou no meio popular sobre o potencial da técnica. Alguns propuseram que a imagem seria o registro da *aura espiritual*, (KIRLIANGRAFIA, 2016; PIRES, 1989), ou de uma emanação psíquica ou emocional, (uma bioenergia que circundaria qualquer ser vivo) (OSTRANDER; SCHROEDER, 1970). Atualmente qualquer relação com estados emocionais ou espirituais só é seriamente abordada se houver respostas fisiológicas¹⁰ que alterem a descarga corona e, então, a imagem.

O objetivo deste trabalho é compilar a fundamentação teórica da técnica bioeletrográfica, construir um equipamento capaz de gerar imagens em formato digital e realizar algumas investigações preliminares, do ponto de vista teórico e empírico. Recapitulou-se os conceitos de eletromagnetismo envolvidos e a teoria de formação das cores (do ponto de vista eletromagnético e fisiológico) e analisou-se algumas imagens obtidas e o sinal elétrico gerado pelo equipamento, juntamente com simulações deste.

Até o presente, desconhece-se qualquer trabalho que pesquise a técnica bioeletrográfica além do espectro óptico. Investigações assim foram e continuam sendo cruciais em outras áreas, como na astrofísica¹¹ (CROCKETT et al., 2012; KERZENDORF et al. 2013; MILLER; OWEN, 2001; NUTZMAN et al., 2011); na cosmologia¹² (ABBOTT et al., 2016; KERZENDORF et al., 2013; SCALZO et al., 2012); na bioquímica¹³ (BALAJI et al., 2014; TAHA et al., 2013); na biologia¹⁴ (KARBOWSKI, 2016; POPP et al., 1984), e muitas outras. Esta abordagem será discutida no capítulo 5.

Discharge Photography (CDP), Gas Discharge Capture (CDC), Electrophoton Capture (EPC), Evoked-Photon Image (EPI), Electrophoton Image (EPI), Electrophotonic Imaging (EPI), High Voltage Photograph (HVP), High Voltage Image (HVI), Electromagnetic Discharge Image (EDI), Ephluviography e Polycontrast Interference Photography (PIP).

¹⁰ Por exemplo, ataques de fúria, aumentando o fluxo sanguíneo, podem alterar a temperatura corporal e a excreção epitelial, enquanto estados de muita ansiedade podem causar sudorese. Estados de relaxamento profundo teriam efeito contrário, impactando também parâmetros físicos do organismo (KOROTKOV, 2010b).

¹¹ Analisando composição química, distribuição estelar e galáctica, velocidade radial, processos de formação de planetas, identificação de exoplanetas, etc., via telescópios de radiofrequência, infravermelho longo, infravermelho curto, óptico, ultravioleta e raio-x.

¹² Estudando as supernovas, a radiação cósmica de fundo (cosmic microwave background radiation – CMB) e a expansão do universo visível, via telescópios sensíveis na faixa de microondas, óptica, ultravioleta, raio-x e raios gama. Pesquisas nesta área detectaram também as radiações gravitacionais, que não pertence às radiações eletromagnéticas, e foram preditas na teoria da relatividade geral (ABBOTT et al., 2016).

¹³ Identificando de compostos bio-ativos e agentes infecciosos por espectrografia em infravermelho e ultravioleta.

¹⁴ Identificando “comunicação celular” por armazenamento e reemissão de fôtons coerentes, após um longo intervalo de tempo, usando detectores no espectro óptico e ultravioleta.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, seguidos pelas Referências e Apêndices.

O primeiro capítulo contém o paradigma atual da bioeletrografia, a proposta de transformá-la em um método de diagnóstico, suas vantagens e desvantagens e o objetivo deste trabalho.

No segundo capítulo, tem-se uma revisão da literatura sobre os principais assuntos envolvidos na produção e análise das imagens Kirlian. São comentados alguns artigos relevantes para a compreensão interdisciplinar do assunto.

O terceiro capítulo traz o embasamento teórico sobre a análise bioeletrográfica. Aborda como o mecanismo da visão interfere na análise das imagens. Desdobra também o modelo atômico moderno e a correlação (e especificidade) do espectro eletromagnético amplo com os compostos moleculares.

No quarto capítulo, é descrito a construção do equipamento bioeletrográfico utilizado neste trabalho, com os resultados e imagens obtidas em cada fase de testes, os ajustes feitos nos circuitos, algumas especificações de operação e de segurança e exemplos de processamento iniciais de imagens bioeletrográficas. Apresenta-se também alguns resultados sintéticos, advindos da compreensão teórica e empírica do tema.

O quinto capítulo contém a discussão dos resultados, sendo dividido em duas partes: a primeira propõe um método de investigação e análise, baseado no paradigma bioeletrográfico atual; a segunda discorre sobre uma nova abordagem à bioeletrografia, propondo um método de pesquisa mais confiável, amplo e promissor. Por fim, há algumas perspectivas futuras sobre o assunto e sugestões de continuação desta pesquisa.

No sexto capítulo estão as principais conclusões obtidas deste trabalho.

Em seguida, tem-se as referências utilizadas e alguns apêndices. Estes trazem a evolução histórica da bioeletrografia e informações complementares sobre troca de energia cinética entre partículas, a dedução da força eletromotriz induzida em uma bobina de ignição e os códigos para MATLAB usados em simulações e análises de imagens.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Como a bioeletrografia não está estabelecida como área científica de pesquisa, existem poucos trabalhos acadêmicos como marcos no desenvolvimento direto desta técnica. Por este motivo, optou-se dar a este capítulo de revisão bibliográfica um formato diferente, exibindo contribuições não encadeadas de alguns trabalhos, de áreas diversas, que auxiliaram na compreensão interdisciplinar da técnica bioeletrográfica. Tais trabalhos abordam assuntos como: o espectro eletromagnético quantizado, transições eletrônicas e ionizações, descargas corona, processos de formação de imagens Kirlian, processamento de imagens e estudos de casos utilizando a bioeletrografia como ferramenta de diagnose.

A evolução histórica da bioeletrografia foi colocada no **APÊNDICE A**, constando desde os principais colaboradores do início até as mudanças conceituais e técnicas por que passou a bioeletrografia¹⁵.

2.1 ÁREA – RUPTURA DIELÉTRICA EM NÍVEL MICRO E MACROSCÓPICO

Nesta seção são apresentados trabalhos que contribuíram para um entendimento conexo sobre a ruptura dielétrica em gases – desde o processo de transição eletrônica até o aspecto macroscópico observado em um arco elétrico ou em padrões fractais de uma descarga.

Einstein (1905) apresentou várias consequências das descobertas de Wien e de Planck¹⁶ sobre a radiação de corpo negro, interpretando o significado do artifício matemático

¹⁵ Para quem não conhece o assunto em detalhes, recomenda-se a leitura do **APÊNDICE A**, principalmente sobre as experiências do casal Kirlian (ao final da seção A.2), antes de continuar a leitura deste trabalho.

¹⁶ De Wien – a lei de deslocamento de Wien e a distribuição espectral de energia válida para baixos valores de ν/T ; de Planck – a formulação obtida do espectro emitido por um corpo negro em equilíbrio termodinâmico (contrariando o eletromagnetismo clássico): $\rho_\nu = \frac{\alpha\nu^3}{e^{\beta\nu/T} - 1}$ (em que ρ_ν é a densidade de energia emitida a uma temperatura T , entre frequências ν e $\nu + d\nu$, $\alpha = 6,10 * 10^{-56}$ e $\beta = 4,866 * 10^{-11}$).

de quantizar a distribuição de energia espectral e aplicando suas conclusões¹⁷ para explicar o efeito fotoelétrico como uma absorção integral e discreta de quantas de luz (fótons): “Radiação monocromática de baixa densidade (dentro da validade da formula de radiação de Wien) comporta-se termodinamicamente como se constituído de quantas de energia mutuamente independente de magnitude $(\frac{R}{N_A})\beta\nu$ ” (EINSTEIN, 1905, p. [142?], tradução nossa).

Merrill e Hippel (1939) salientaram que as figuras de Lichtenberg¹⁸ (ver Figura 90) contêm informações sobre amplitude e polaridade da tensão envolvida e campo magnético presente. Abordaram as correções sobre o tempo experimental e a predição teórica da ocorrência de uma descarga, considerando o efeito da distribuição espacial de cargas e o efeito fotoelétrico, devido a fótons UV liberados pela própria avalanche, reforçando o processo. Explicaram o **mecanismo supressor de descargas que ocorre em gases eletronegativos** (como CCl_2F_2 . – gás Fréon), ressaltando que **são mais efetivos contra descarga corona que contra faísca**¹⁹, pois o gás tem maior probabilidade de capturar elétrons de baixa energia.

Keldysh (1965) fez uma análise aprofundada²⁰ sobre as **probabilidades de ionização direta na presença de campos eletromagnéticos com frequência inferior ao potencial de ionização**²¹ do meio, unificando dois extremos: campo intenso com frequências baixíssimas (em que predomina a auto ionização por tunelamento) e campo fraco com frequências pouco abaixo do potencial de ionização (em que predomina o efeito de absorções simultâneas). “[...] É mostrado que para frequências na faixa óptica, o **mecanismo considerado (de ionização direta pelo campo) pode ser relevante no caso de ruptura dielétrica em gases**, e

¹⁷ Einstein derivou do eletromagnetismo clássico a fórmula (válida para $\frac{\nu}{T}$ pequeno): $\rho_\nu = \frac{R}{N} \frac{8\pi\nu^2}{c^3} T$, em que c é velocidade da luz no vácuo e R/N_A é a constante universal dos gases. Planck analisou os dados experimentais e, por ajuste matemático, obteve $\rho_\nu = \frac{\alpha\nu^3}{e^{\beta\nu/T} - 1}$, que tende à formulação de Einstein para $\frac{\nu}{T}$ pequeno.

¹⁸ “‘Figuras de Lichtenberg’ são padrões ramificados, arborecentes, criados pela passagem de descargas elétricas de alta tensão pela superfície ou através de materiais isolantes (dielétricos)” (WHAT, 2017).

¹⁹ O fenômeno é um só: o deslocamento de nuvens eletrônicas. Na literatura, dependendo da especificidade do trabalho, é referido por diversos nomes (de acordo com espectro emitido, intervalo entre nuvens subsequentes, energia média das nuvens, etc.), podendo, todavia, causar a ilusão de serem fenômenos distintos. Subdividindo-lo, por enquanto, nas seguintes classes: corrente de fuga, surtos isolados de corrente (ou avalanches isoladas), trem de pulsos (avalanches realimentadas), descarga corona (potência média muito maior que a de surtos isolados), faísca (emitindo grande quantidade na faixa óptica por pouco tempo) e arco elétrico (meio altamente ionizado).

²⁰ Utilizando a teoria quântica moderna, englobando conceitos de tunelamento, estados metaestáveis e auto ionização (explicado pela ramo moderno da teoria quântica de campos do eletromagnetismo – a eletrodinâmica quântica).

²¹ A teoria quântica antiga não explica adequadamente este fenômeno, resultando em probabilidades de ionização muito inferior ao experimental. A moderna eletrodinâmica quântica prediz corretamente os resultados experimentais.

especialmente em matéria condensada” (KELDYSH, 1965, p.1307, tradução nossa, grifo nosso). Mostrou também que tais situações são extremos de um mesmo mecanismo, fundamentando-o teoricamente, considerando fatores perturbativos do efeito Stark e efeitos de ressonância. “Na ruptura de gases sob condições não-ideais²², o impacto dos processos considerados neste artigo é determinado pela **competição com o efeito avalanche** [...]. Portanto para um feixe suficientemente focado [...], ou para pulsos suficientemente curtos, a ruptura deve aparentemente ser determinada pela ionização direta dos átomos no campo oscilante” (KELDYSH, 1965, p.1314, tradução nossa, grifo nosso).

Bessières, Paillol e Soulem (2004) **desencadearam descargas coronas** no ar (configuração ponta-plano) **com tensões abaixo do limiar de ruptura, ao focarem um feixe de laser** XeCl na zona de avalanche eletrônica. Focando-o fora desta zona, o processo de religação eletrônica domina o efeito cascata, e a distorção espacial positiva induzida pelo laser (na potência utilizada) foi insuficiente para desencadear coronas sem aumentar a tensão.

Staack et al. (2005) analisaram descargas coronas (ponta-plano) em *gaps* pequenos (milímetros) e pressão atmosférica. Observaram três regiões características na descarga: região de brilho negativo, próxima ao cátodo, seguida pela região escura de Faraday (*dark Faraday's space*) e a coluna de brilho positivo, até o ânodo. Constataram que as descargas podem ser extinguidas pela oxidação do cátodo (plano): “[...] **em descargas no ar** com materiais oxidáveis como o cátodo, **o brilho negativo move-se pelo cátodo deixando um rastro de revestimento de óxido** até que não haja mais superfície limpa no alcance da descarga, **e esta se extingue**” (STAACK et al., 2005, p. 703, tradução nossa, grifo nosso). Registraram a emissão espectral da descarga (sensores entre 200 e 450 nm), correlacionando-a com as **transições atômicas e moleculares do ar (níveis atômicos, translacionais, rotacionais e vibracionais em moléculas de N₂, NO, OH)**. Analisaram também a descarga em gases nobres, comparando com o espectro teórico e finalizaram com um estudo sobre o gradiente de temperatura em descargas coronas (plasmas de baixa densidade), computando inclusive temperaturas vibracionais e rotacionais:

[...] pode haver variações [entre a temperatura] no brilho negativo e na coluna positiva. Além disso, **a temperatura cai rapidamente fora da descarga**. Um *thermocouple* colocado a 5mm da descarga mediu um aumento de 100 K na

²² Keldysh aplica as equações em dois casos, mostrando os resultados numéricos e o forte efeito ressonante, que determina a relevância do efeito nas condições analisadas. Se um laser de 50 MW (de frequência inferior à de ionização orbital do meio) for focado em $0,0001 \text{ mm}^2$ este efeito mostra que a região estaria completamente ionizada em apenas 1 ns . Se o laser estiver 100 vezes menos focado ($0,01 \text{ mm}^2$) o tempo para a região estar completamente ionizada devido somente a este efeito aumenta por um fator de 10^{16} (10^7 s). (KELDYSH, 1965).

temperatura ambiente. Isto indica um gradiente de temperatura maior que 2300 Kcm^{-1} (STAACK et al., 2005, p. 706, tradução nossa, grifo nosso).

Maglaras e Topalis (2009), em um trabalho de referência, **verificaram a influência do aterramento em descargas ponta-ponta, ponta-plano e esfera-esfera**, variando a polaridade da tensão aplicada e comparando-as também com descargas bipolares de tensão CC. Constatou-se que a configuração do campo elétrico mudava bastante com o aterramento de um dos eletrodos. “O aterramento de um eletrodo na configuração ponta-plano influencia grandemente a tensão de ruptura do ar e o limiar de descargas corona”. (MAGLARAS; TOPALIS, 2009, p. 37, tradução nossa). Descobriram uma relação mais específica, complementar à lei de Paschen, em que **quanto maior a descarga corona estabelecida, maior a tensão necessária para a ruptura**: “Em grandes *gaps* de ar a corrente corona torna o campo menos heterogêneo, aumentando proporcionalmente a tensão de ruptura [...]” (MAGLARAS; TOPALIS, 2009, p. 40, tradução nossa) de tal forma que este **efeito domina a própria influência de aterramento** que constataram. Este efeito pode ser enunciado de forma semelhante à 3^a Lei de Newton e à Lei de Lenz, mostrando a simetria dos efeitos naturais: “A heterogeneidade do campo produz o efeito corona, e a corrente corona tende a opor-se à razão que a causa, tentando fazer o campo menos heterogêneo diminuindo o valor máximo da intensidade do campo [aumentando o limiar de ruptura total]” (MAGLARAS; TOPALIS, 2009, p. 40, tradução nossa, grifo nosso).

Vega et al. (2009) descrevem a **construção de um gerador de impulsos de alta potência de carregamento rápido** (por correntes corona induzidas) e alta tensão de ruptura. Obtém correntes com tempo de subida de 1 ns, pico de 145 A em um resistor de 200 ohms, com repetição de até 180 Hz, por um arranjo em 2 etapas: configuração ponta-plano com ar a baixa pressão (geração rápida de correntes coronas para carregar o capacitor da segunda etapa); e configuração esfera-esfera com SF₆ a alta pressão (aumentando a tensão de ruptura), resultando em uma **configuração ponta-plano-esfera-esfera, pois há um eletrodo intermediário (plano-esfera) eletricamente flutuante**.

Liu et al. (2014) analisaram descargas coronas positivas na configuração ponta-plano (pressão atmosférica) por meio de experimentos e simulação usando o método dos elementos finitos. Registrando os pulsos de corrente com osciloscópio de altíssima frequência (ver Figura 27 e Figura 31), **analisaram os pulsos de corrente, separando as avalanches primárias, de amplitude maior, seguidas de avalanches secundárias** (que ocorrem enquanto houver distorção suficiente no campo elétrico – pelas cargas positivas deixadas pela avalanche primária).

2.2 ÁREA – FORMAÇÃO DAS IMAGENS KIRLIAN E FATORES PERTURBATIVOS

Nesta seção estão contribuições relacionadas à formação das imagens Kirlian (ver Figura 1) e fatores influentes, (ambos do ponto de vista eletromagnético), em trabalhos que tratam diretamente do efeito Kirlian (bioeletrografia).

Boyers e Tiller (1973), analisaram o processo de formação das imagens e fatores de interferência. **Explicaram o mecanismo eletromagnético dominante na formação das descargas, refutando a necessidade de postular novos tipos de energia** (emitidas de um hipotético *corpo bioplasmático*, como defendiam cientistas soviéticos à época²³). Trouxeram a importante contribuição de como as **descargas coronas em ambos eletrodos poderiam produzir a variedade de cores artificiais observadas nos filmes fotográficos** (vide Figura 2), desmystificando a explicação normalmente utilizada (que não era comprovada nem refutada) sobre o significado emocional das cores que apareciam nas fotos Kirlian.



Figura 1 Duas fotos Kirlian obtidas por Boyers e Tiller: à esquerda, de uma moeda de 5 centavos de dólar; à direita, de uma digital. Fonte: adaptado de Boyers e Tiller (1973, p. 3105).

²³ Herculano Pires relata em duas obras (publicadas em 1970 e 1976) as pesquisas da época, a compreensão que se tinha do fenômeno e as interpretações que eram feitas. Ver em Pires (1970, p.50-53) e Pires (1989, p.32-35) sobre o *corpo bioplasmático*, os testes em Alma-Ata e as linhas de pesquisas psíquicas usando câmeras Kirlian. Ver Fornari (1984) – ou Zaltrão (2006, p.26) e Bonilha (2010, p.28-31) – sobre a interpretação de Landell de Moura das imagens bioeletrográficas que obteve. Há também o livro jornalístico de Ostrander e Schroeder (1970) relatando as pesquisas e resultados obtidos pelo casal Semyon e Valentina Kirlian, na década de 1940 e 1950.

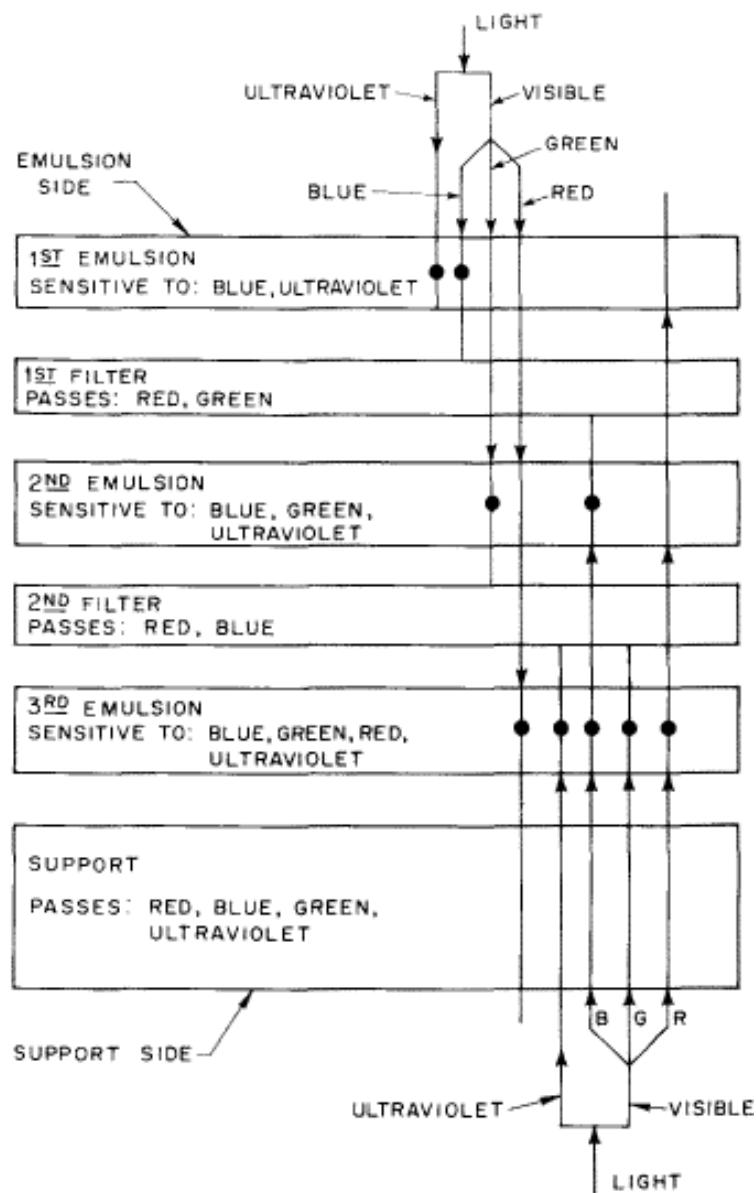


Figura 2 Produção de cores artificiais nos filmes fotográficos usados em máquinas kirlian. Descargas coronas (majoritariamente azul, violeta e ultra violeta) ocorridas no eletrodo de baixo produzem um espectro incorretamente filtrado de baixo para cima, fazendo com que a descarga corona sensibilize excessivamente as emulsões “vermelha” (3^ª) e “verde” (2^ª). Fonte: Boyers e Tiller (1973, p. 3110).

Ban'kovskiy, Korotkov e Petrov (1986) reforçaram o embasamento eletromagnético sobre as imagens formadas pelo efeito Kirlian e abordaram o impacto de variações operacionais, analisando a diferença entre 3 tipos de descarga em gás: avalanche, superficial e em vácuo. Com isto, propuseram uma nova nomenclatura para englobar os vários tipos de imagens Kirlian da época: *Gas Discharge Visualization* (GDV). “[...] **Estes tipos de descarga diferem substancialmente um do outro, resultando em diferenças nas imagens obtidas por cada tipo** e [há necessidade de diferentes] métodos para extrair informação delas sobre propriedades do objeto [...]” (BAN'KOVSKIY; KOROTKOV; PETROV, 1986, p. 29, tradução nossa, grifo nosso). Ressaltaram as possibilidades promissoras da técnica na área da

saúde, mas advertem sobre o cuidado nas pesquisas e conclusões para não ceder a um método pseudocientífico:

[...] A possibilidade de empregar esse método [...] para analisar a vitalidade de plantas, [...] diagnosticar tumores, [...] observar regiões ativas da pele, etc. tem estimulado interesse considerável. [...] [Porém com um efeito colateral]: tem aparecido publicações [...] contendo conceitos obviamente não-científicos [...] (BAN'KOVSKIY; KOROTKOV; PETROV, 1986, p. 44, tradução nossa).

Gadsby (1993) analisou relatos de estudos de casos ao avaliar o uso da bioeletrografia como ferramenta diagnóstica em inflamações, câncer e estados alterados de consciência. Propôs uma **correlação entre a resistência elétrica epitelial e condições inflamatórias**, porém seus experimentos e subsequentes **análises das imagens obtidas não corroboram completamente** a hipótese: “[...] este estudo sugere que não podemos fazer as observações rotineiras sob o conhecimento atual que temos do assunto [...]” (GADSBY, 1993, p. 182, tradução nossa).

Lee, Fung e Markus (1996) usaram pulsos eletromagnéticos de micro-ondas, radiofrequência, *audiofrequência* até regime CC para produzir as imagens (testando apenas em objetos inorgânicos – moeda de 5 centavos de dólar): “[...] Vale notar que a imagem do tipo corona sempre aparece [em tensões suficientemente altas], independente da frequência, mas a **imagem superficial granulada só ocorre em altas tensões alternadas**” (LEE; FUNG; MARKUS, 1996, p. 810, tradução nossa, grifo nosso). Monitorando pressão, temperatura e humidade relativa do ar, tensão aplicada e tempo de exposição do filme, propuseram um modelo para explicar a variação da descarga com o aumento da tensão, dividindo em **quatro fases: descarga corona escura, faíscas de curto alcance, brilho estático e faíscas de longo alcance**, considerando o efeito de carregamento do dielétrico. As análises foram feitas em imagem produzidas com tempo de abertura muito longo (vários segundos).

Korotkov e Korotkin (2001) analisam descargas em água destilada focando no processamento automático das imagens, analisando o coeficiente fractal (geométrico) e largura média das *streamers* e **concluem que medidas repetitivas distorcem o estado do objeto**, aumentando muito o desvio padrão entre as medidas (e o valor do coeficiente fractal), tornando as descargas sucessivamente menos coerentes. E finalizam: “[...] Deliberadamente não consideramos **parâmetros da imagem como área total ou área luminosa**. A razão principal de omiti-los é que estes parâmetros são adimensionais e, portanto, extremamente sensíveis à mudanças na resolução, tipo de dispositivo, condições experimentais, etc.” (KOROTKOV; KOROTKIN, 2001, p. 4736, tradução nossa, grifo nosso).

Korotkov e Popechitelev (2002) explicam a distorção provocada no objeto por bioeletrografias sucessivas: “a descarga elétrica no gás [no entorno do objeto] pode causar emissões secundárias [de partículas carregadas], destrutivas, e **processos térmico no BO** [objeto biológico], **afetando, portanto, as características do BO**”²⁴ (KOROTKOV; POPECHITELEV, 2002, p. 23, tradução nossa, grifo nosso).

Halkias e Maragos (2004) desenvolvem métodos matemáticos para análise computacional das imagens Kirlian, **focando-se na área total das descargas, para superar a dificuldade de delimitar a forma, altamente fragmentada (fractal)**.

2.3 ÁREA – APLICAÇÕES, ESTUDOS DE CASO E TESTES DE DIAGNOSE

Nesta seção, são discutidos alguns trabalhos relevantes que avaliaram a precisão e especificidade de diagnósticos bioeletrográficos, por estudos de casos e análises visuais ou processamento automático de imagens (alguns com validação cruzada).

Grott e Grott (1987) analisaram uma amostra grande (1100 casos), sendo que 9% são indivíduos com “neoplasia maligna histopatologicamente comprovada” (GROTT; GROTT, 1987, p. [02]). Avaliaram manualmente as bioeletrografias, constatando padrões nas imagens que tornaria possível identificar a existência de câncer no paciente, embora o fenômeno nem sempre apareça, sendo necessárias várias bioeletrografias. A metodologia não está clara e a avaliação pode ter sido tendenciosa (sem controle duplo-cego, crucial para avaliações não automatizadas).

Coutinho (1990) buscou relações entre imagens kirliangráficas (bioeletrográficas) e informações sobre o organismo humano, focando em atividades desportivas.

Moura (2000) desenvolveu um protótipo para análise computacional de imagens bioeletrográficas usando lógica difusa. O *software* é feito em linguagem Delphi e calcula a

²⁴ Esta afirmação também é corroborada por testes feitos com o equipamento desenvolvido neste trabalho. Folhas vegetais submetidas repetidas vezes à bioeletrografia durante alguns segundos mostraram escurecimento em todo seu contorno (provavelmente devido a evaporação forçada pela temperatura das descargas no contorno, carbonizando a borda)

distribuição de cores RGB (em pixels) para enquadrá-las em padrões de diagnose (Moura adotou padrões de análise pré-definidos por Newton Milhomens – fabricante da máquina Kirlian usada – quanto à distribuição de cores em diagnósticos psicológicos).

Paiva (2010) avaliou o uso da bioeletrografia no âmbito acadêmico e no âmbito popular. Monitorou publicações acadêmicas brasileiras entre 1990 e 2009 e **revisa conceitos de eletromagnetismo sobre as descargas coronas, o espectro eletromagnético e o funcionamento de filmes fotográficos coloridos, e sobre a excreção epitelial**. Mostrou que muitos **trabalhos são feitos sem metodologias, amostras ou fundamentação teórica adequadas e sem validação estatística**. Abordou duas pesquisas sobre **efeitos causados em água por magnetizadores** [sic], uma avaliada por **espectrografia de infravermelho**, constatando mudança no ângulo de ligação atômica, e outra pelo método **GDV**, que mostrou na água magnetizada uma área brilhante muito maior que na água de controle.

Korotkov et al. (2010a) fizeram uma revisão das publicações feitas em algumas bases de dados sobre GDV e EPC entre 2003 e 2008, avaliando se os estudos foram feitos sob determinados critérios de validação científica²⁵ e reportaram em quais áreas a técnica tem sido utilizada.

Atzingen (2013) analisou a bioeletrografia de frutas (inteiras e cortadas), tanto usando filmes fotográficos coloridos quanto no formato digital. **Comparou as imagens com simulações computacionais da densidade superficial de cargas** por elementos finitos e com algoritmo genético, ambas com boa concordância.

Conclui-se [...] que as imagens obtidas contêm informações das características físico-químicas do alimento. [...] As simulações do efeito corona mostraram que **as imagens são alteradas com mudanças na geometria e na constante dielétrica da amostra**, indicando que as modificações observadas nas imagens das amostras podem ser provenientes tanto de variações na constante dielétrica como pela geometria (ATZINGEN, 2013, p. 68, grifo nosso).

Yakovleva et al. (2016) analisaram várias **bioeletrografias a partir do equipamento e do software desenvolvido por Korotkov, que considera a relação entre meridianos de acupuntura e órgãos do corpo humano**. Buscaram padrões bioeletrográficos de tumor no cólon. Os 137 participantes analisados foram divididos em grupo de controle (9 homens e 46 mulheres, com idade de 43.3 ± 2.2 anos) e pacientes com tumor (benigno ou maligno) no cólon (40 homens e 42 mulheres, com idade de 64.2 ± 1.3 anos). Dividiram também em

²⁵ Amostra retirada aleatoriamente, metodologia bem descrita (reprodutível), estudos duplo-cegos (em que o analisador das imagens não tem contato com os indivíduos analisados, nem sabe qual o resultado esperado de cada imagem), áreas de interesse, etc. (KOROTKOV et al., 2010a).

grupos baseados na morfologia do tumor, tamanho, localização e quantidade de tumores. Classificações automáticas resultaram em acertos da ordem de 70% e 80%, assim como análises de especificidade, dando um nível de precisão razoável para um estudo de triagem. Todavia, os autores não consideram que obtiveram um método de diagnóstico: “[...] **a amostra é muito pequena e outros tipos de câncer não foram avaliados**. Mais estudos são necessários” (YAKOVLEVA et al., 2016, p. 79, tradução nossa, grifo nosso).

Investigações semelhantes foram feitas por Bundzen et al. (2005) sobre atividades desportivas, por Ciesielska (2009) sobre a influência têxtil no corpo humano, por Polushin et al. (2009) em indivíduos com patologias crônicas na cavidade abdominal, por Kostyuk et al. (2010) em crianças autistas com irmãos não autistas e por Korotkov et al. (2010b) com uma variação do método EPC, registrando alterações nas medidas devido à atividades de meditação. Todos estes são experimentos menos criteriosos que o de Yakovleva et al. (2016).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que a bioeletrografia torne-se uma área científica de pesquisa, é imprescindível que lhe seja agregada uma fundamentação teórica mais refinada, condizente com a especificidade de seus objetivos. Para isto, abordou-se primeiramente a teoria de formação das cores, do ponto de vista fisiológico e eletromagnético; então recapitulou-se o modelo atômico moderno, que possibilita a correlação entre o espectro eletromagnético emitido por um corpo e sua composição química e, por fim, detalhou-se o mecanismo de ionização e ruptura dielétrica em gases, com ênfase ao estágio de descarga corona.

3.1 TEORIA DE FORMAÇÃO DAS CORES

O aspecto cromático (intensidade, matiz e saturação) tem sido parâmetros importantes em análises de imagens bioeletrográficas²⁶. Esta seção mostrará o papel do olho na percepção colorida do ambiente e que este órgão não é um instrumento adequado para analisar imagens bioeletrográficas.

3.1.1 Células fotossensíveis do olho humano

As cores não são propriedades intrínsecas²⁷, mas, de acordo com Backhaus, Kliegl e Werner (1998), dependem principalmente de dois fatores: o espectro emitido e/ou refletido pelo objeto e a absorção espectral e espacial das células fotossensíveis do observador, combinada aos seus mecanismos de interpretação cerebral.

²⁶ Alguns pesquisadores (hoje minoria), como Jacob Narkiewicz (CIESILESKA, 2009) e Peter Mandel (KOROTKOV, 2016a), analisaram imagens em escala de cinza, observando-se apenas o formato e extensão do halo corona registrado. Os equipamentos desenvolvidos pelo grupo do professor Konstantin G. Korotkov também parecem usar imagens em preto e branco e depois colori-la artificialmente.

²⁷ Nem dos objetos, nem da luz, ainda que, para esta, a frequência (e energia) seja uma propriedade intrínseca.

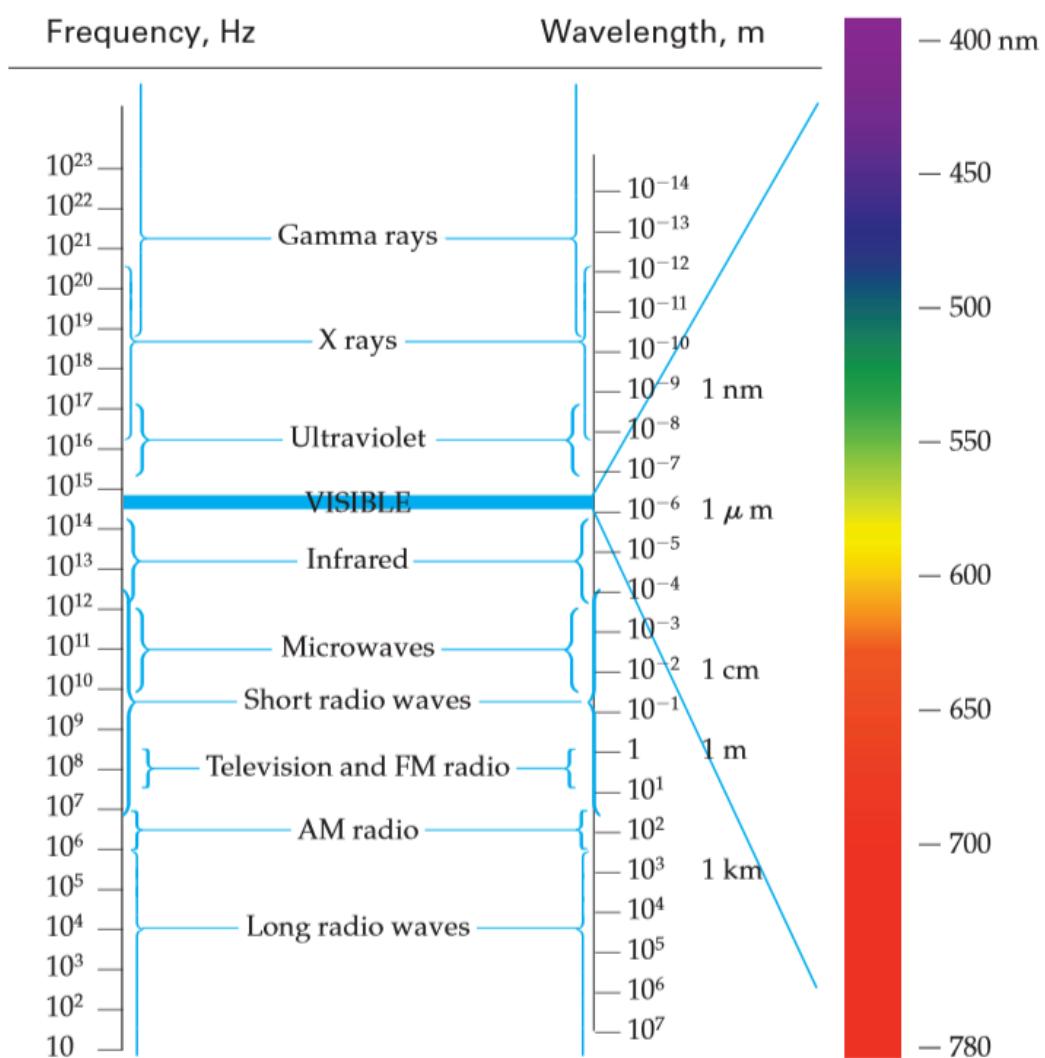


Figura 3 Espectro eletromagnético dividido por bandas de frequência (ou comprimento de onda). Destaque e ampliação para a banda "visível", conforme cores associadas pelo cérebro humano. Fonte: TIPLER; MOSCA (2008, p. 1041).

O olho humano é uma das partes fotossensíveis²⁸ mais especializadas do corpo humano. É um sensor biológico, matricial, que converte radiação eletromagnética na faixa de 400 a 700 nm (ver Figura 3²⁹) em impulsos cerebrais, possibilitando uma interpretação dinâmica, “colorida” e tridimensional do ambiente.

²⁸ Tratando-se do espectro amplo, há outras partes do corpo humano sensíveis (biologicamente) à radiação eletromagnética. A glândula pineal (epífise) de aves reage de forma consistente à variações no campo magnético, sendo crucial no processo de orientação geomagnética (SEMM; SCHNEIDER; VOLLRATH; 1980). Em humanos está relacionada ao ciclo circadiano, produção de melatonina, regulação do sono, inibição do desejo sexual (até a adolescência) e passou da categoria de órgão vestigial (início do século XX) à mais importante das glândulas endócrinas (posição atual) (LUCCHETTI et al., 2003; OLIVEIRA, 1998). Outra região fotossensível foi estudada por Campbell e Murphy (1998), mostrando que pulsos eletromagnéticos na região posterior do joelho (*popliteal region*) é capaz de afetar o ciclo circadiano. Também há o tecido epitelial, que é sensível à radiação no infravermelho (moléculas de água tem forte absorção no infravermelho), operando como um sensor gradual de “temperatura”.

²⁹ Comprimentos entre 700 nm e 780 nm ainda resultam em estímulos visuais, porém requerem intensidades maiores à media que distanciam de 700 nm (TIPLER; MOSCA, 2008).

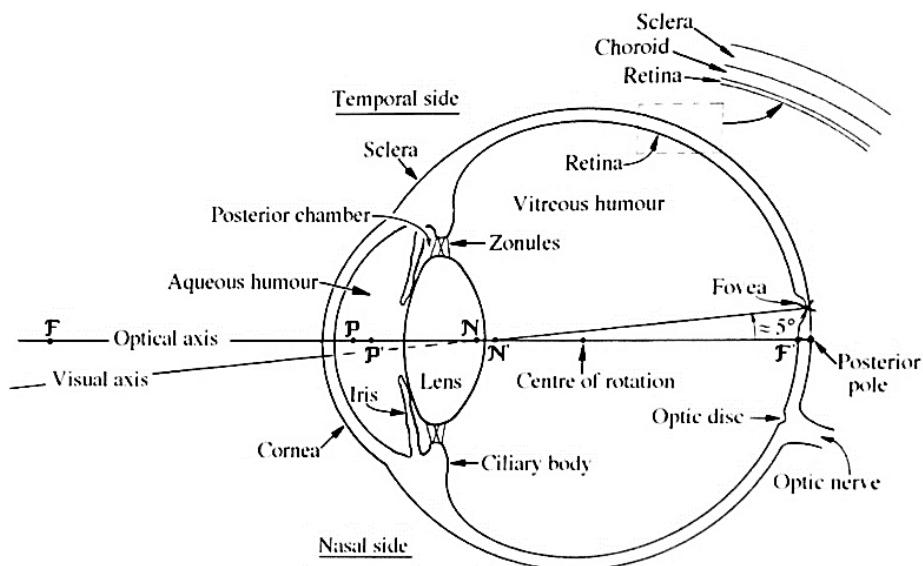


Figura 4 Esquemático dos principais componentes do olho humano. A fóvea é a região da retina de máxima densidade de células fotossensíveis do tipo cone. Fonte: Atchinson e Smith (2000, p. 3).

A conversão fotoquímica da luz ambiente ocorre na camada pigmentar da retina³⁰ (ver Figura 4 e Figura 5), formada por ramificações de dois tipos de células: os cones e os bastonetes³¹. Estas células possuem, em suas terminações, proteínas da família das opsinas, que são moléculas complexas com alta sensibilidade³² a fótons da faixa óptica do espectro.

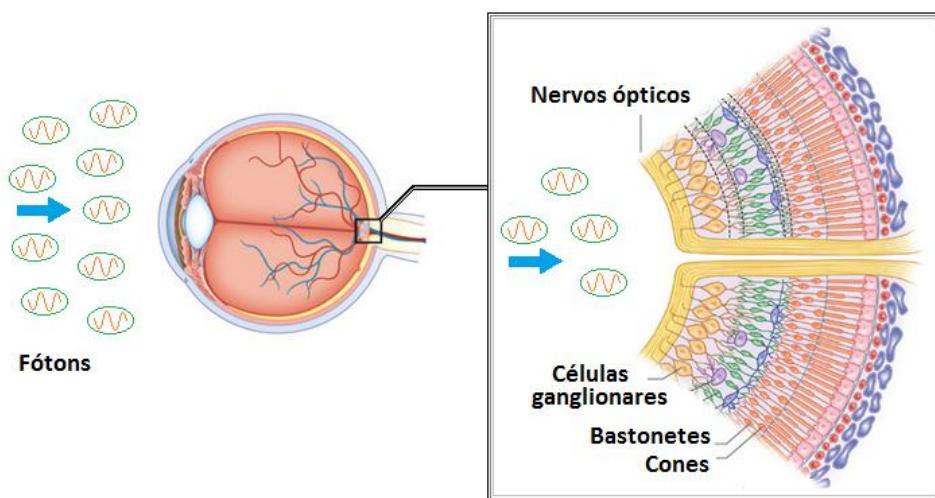


Figura 5 Detalhe da retina. A luz incide sobre várias camadas (começando pelo nervo óptico) até atingir a camada pigmentar, formada pelas terminações dos cones e bastonetes. Adaptado de: www.retinareference.com/anatomy, acessado em 05/04/2017.

³⁰ Na camada ganglionar, anterior à pigmentar, também há conversão fotoquímica e estimulação neural. As células ganglionares são neurônios que compõe uma terceira classe de célula fotossensíveis. Intermedeiam a retina e o nervo ótico, sendo responsáveis por estabilizar a luminosidade média do ambiente, entre outras funções.

³¹ “Os nomes referem-se às suas formas, mas variações consideráveis na forma ocorrem com a localização, e nem sempre é possível distinguir entre os dois tipos [...].” (ATCHINSON; SMITH, 2000, p. 5, tradução nossa).

³² Hecht, Shlaer e Pirenne (1942) mostraram que a sensibilidade dos bastonetes é próxima ao limiar quântico de eficiência. Um estímulo visual pode ser gerado pela absorção de cerca de 10 fótons apenas, que significa a incidência de 54 a 148 fótons na área ocular, uma densidade luminosa extremamente baixa.

Os três principais parâmetros na sensibilidade³³ dos cones e bastonetes (ver Figura 6) são: o mecanismo cerebral de interpretação do sinal destas células, o circuito óptico que as conecta ao cérebro e o tipo e quantidade de moléculas fotossensíveis (opsinas) que possuem.

3.1.2 Cones e bastonetes – sensibilidade e especificidade dos circuitos ópticos

Embora cones e bastonetes tenham sensibilidades espectrais próximas, o mecanismo neural (círculo óptico) dos bastonetes é especializado para ambientes pouco iluminados (baixa densidade de fótons). Existem em maior quantidade e mais distribuídos pela retina, enquanto os cones concentram-se quase totalmente na região da fóvea (ver Figura 4 e Figura 8). Além disso, a rede neural dos bastonetes é integrada³⁴, possibilitando que vários estímulos simultâneos se combinem em um mesmo sinal para o nervo óptico. (ATCHINSON; SMITH, 2000).

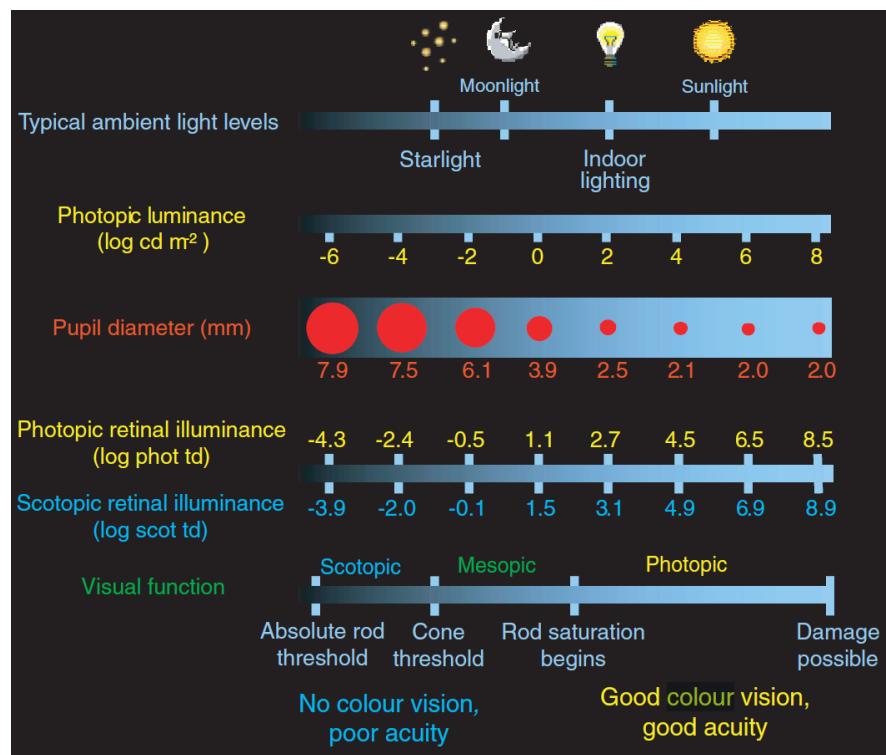


Figura 6 Regime visual para diferentes intensidades de luz. Para baixas intensidades, a pupila está bem dilatada, o regime é escotópico (sensibilidade à pouca luz), os bastonetes geram o estímulo neural e não há distinção de cores nem boa resolução espacial. Em altas intensidades há o regime fotópico (Para intensidades médias, o regime visual chama-se mesópico, combinando respostas dos cones e dos bastonetes. Fonte: Stockman e Sharpe (2006b, p. 226).

³³ O conceito de sensibilidade e curva de absorção refere-se, geralmente, à uma alta taxa de absorção de fótons dentro de um intervalo espectral.

³⁴ Os estímulos de cerca de 100 bastonetes podem ser combinados, resultando um estímulo visual significativo. Todavia, este procedimento reduz a resolução espacial (ATCHINSON; SMITH, 2000).

Os cones existem em três variações³⁵, segundo sua curva espectral de absorção: S (*Short*), M (*Medium*), L (*Long*), com picos de absorção em 437, 533 e 564 nanômetros respectivamente (ver Figura 7)³⁶ e são efetivos em ambientes com alta intensidade de luz (alta densidade de fôtons). Esta trivariância das células cones é fundamental no processamento colorido da visão, por enviar ao cérebro informações espetrais qualitativas, e na resolução espacial da imagem, por ter caminho neural individualizado (ATCHINSON; SMITH, 2000). Segundo Stockman e Sharpe (2006a, p.53, tradução nossa, grifo nosso):

[...] Embora a probabilidade de um fôton ser absorvido por um fotorreceptor varia de muitas ordens de magnitude com o comprimento de onda, **seu efeito, uma vez que é absorvido, é independente do comprimento de onda**. Um fotorreceptor é essencialmente um contador de fôtons sofisticado, cuja saída varia de acordo com o número de fôtons absorvido [...], **fotorreceptores individuais não distinguem cor**. O sistema visual é capaz de distinguir cores pela mudança na intensidade apenas **comparando a saída de dois ou três tipos de cones** com diferentes sensibilidades espetrais [...].

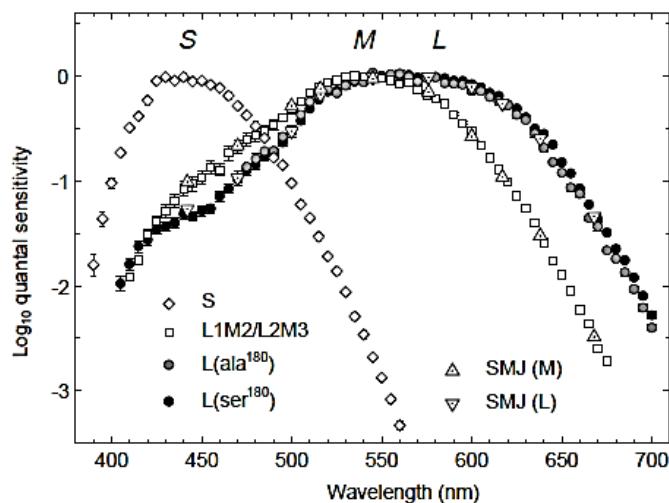


Figura 7 Sensibilidade espectral relativa dos três tipos de cones da retina humana (com normalização para equiparar os pontos de máximo). Stockman e Sharpe (1999) agruparam medições suas com de outros pesquisadores, mostrando uma tendência geral. Fonte: Stockman e Sharpe (2006a, p. 59).

A fóvea concentra a maior parte dos cones, enquanto os bastonetes estão distribuídos pela retina, com densidade máxima por volta de 20 sr (graus em esferorradianos, referente ao eixo óptico), como mostra a Figura 8. A quantidade e distribuição espacial destas células na retina varia de um indivíduo para outro, variando-lhes a “sensação cromática e luminosa”. O

³⁵ Experimentos feitos com espécie de peixe (*Carassius auratus*), tartaruga (*Pseudemys scripta elegans*) e salamandra (*Ambystoma tigrinum*) indicaram que são animais tetracromáticos, com uma quarta variação de cones na faixa do ultravioleta (BACKHAUS; KLIEGL; WERNER, 1998). A abelha (*Apis mellifera*), embora tricromática, possui um cone na região UV e menos sensibilidade na região vermelha-infravermelha (BACKHAUS; KLIEGL; WERNER, 1998).

³⁶ Note que uma densidade local de fôtons de 400 nm que seja 10 vezes maior que uma densidade de fôtons 440 nm, causará, estatisticamente, o mesmo estímulo visual em um cone tipo S, assim como uma densidade 100 vezes maior em 520 nm. Um cone tipo M, por exemplo, responderá da mesma forma dentro de todo o espectro óptico, desde que a densidade de fôtons seja inversamente proporcional à probabilidade de absorção do mesmo, mostrando que é somente a combinação da trivariância dos cones com a adaptação cerebral de interpretação que resulta em uma interpretação colorida do ambiente.

mecanismo cerebral também pode desenvolver-se de maneira diversa e, mesmo que indivíduos tenham idêntica quantidade e distribuição de cones e bastonetes, podem interpretar imagens com cores e luminosidades distintas.

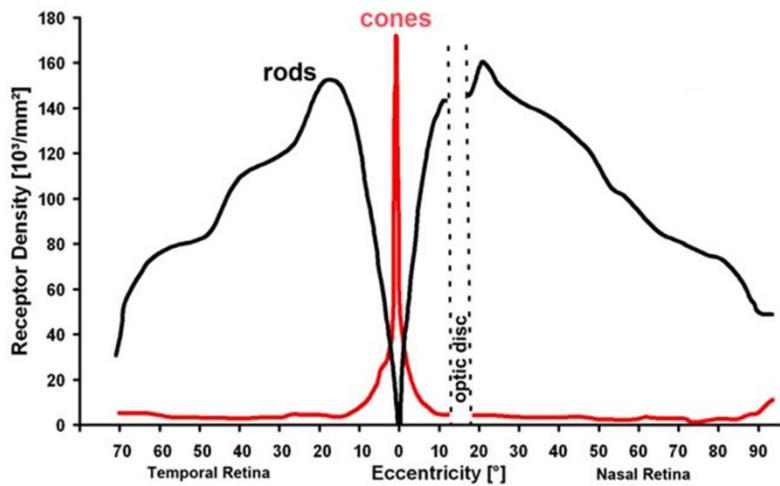


Figura 8 Distribuição de cones e bastonetes ao longo do eixo visual. Não há cones e bastonetes na região do nervo óptico. Fonte: webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/photoreceptors, baseado no trabalho de Osterberg (1935), acessado em 05/04/2017.

3.1.3 O processo foto-químico-neural que resulta em um estímulo visual

Um bastonete, por exemplo, contém milhares de rodopsinas³⁷, um tipo de opsina com pico de absorção em 498 nm. Ao absorverem fótons, as rodopsinas desencadeiam um mecanismo em cascata (representado na Figura 9 e Figura 10) que resulta na hiperpolarização do bastonete (por modificar o fluxo de Na^+ e Ca^{2+} pela membrana celular), favorecendo a liberação dos neurotransmissores de suas vesículas (que são rompidas, sendo fundidas à membrana do bastonete), iniciando o mecanismo sináptico. Então o sinal elétrico propaga-se para o cérebro através do nervo óptico.

Em condições de muita luz (regime fotópico), os bastonetes estão saturados (as rodopsinas estão oxidadas e a taxa no envio de neurotransmissores não muda). Após um tempo em baixa luminosidade, as moléculas de rodopsinas são regeneradas (ver Figura 9), iniciando o regime escotópico, de sensibilidade à pouca luz. O mecanismo neuroquímico nos 3 tipos de cones é semelhante, porém envolvendo outras variações de opsinas, cujas curvas de absorção são as da Figura 7.

³⁷ Em luz branca, apresenta tons roxo-avermelhados (por isso também chamada de *visual purple*), que significa alta absorção de luz verde (em torno de 500 nm) e média absorção de luz amarela e cyan (em torno de 550 e 470 nm). Reflete boa parte da luz vermelha e tons de azul (acima de 600 nm e abaixo de 450 nm).

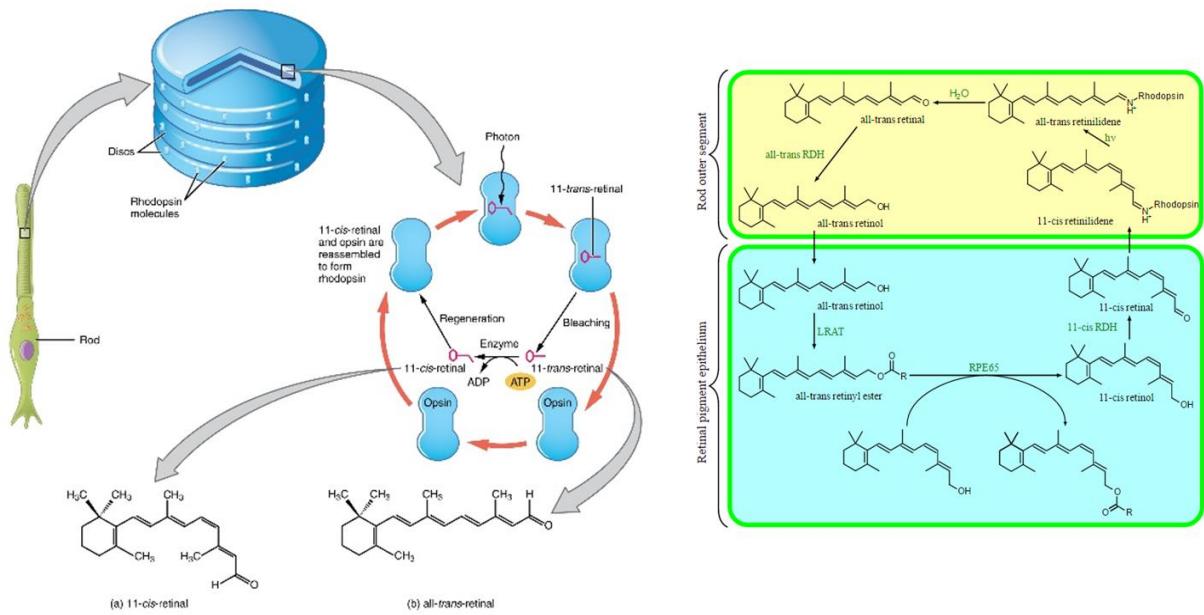


Figura 9 Processo de transdução fotoquímica em um bastonete. As rodopsinas ficam nas lamelas, que estão na extremidade longa dos bastonetes, tornando-a pigmentada (roxa mediante luz branca). A rodopsina é a molécula altamente sensível à fótons no espectro óptico, e sua excitação desencadeia um mecanismo químico sequencial em outras moléculas, que resulta na redução da permeabilidade da membrana do bastonete ao fluxo de íons Na^+ e Ca^{2+} , tornando-o eletricamente polarizado. Esta polarização desencadeia a liberação dos neurotransmissores dos bastonetes, enquanto as moléculas do processo são regeneradas. Fonte: cng.org/contents/FPtK1zmh@6.27:s3XqfSLV@4/Sensory-Perception, acessado em 05/04/2017..

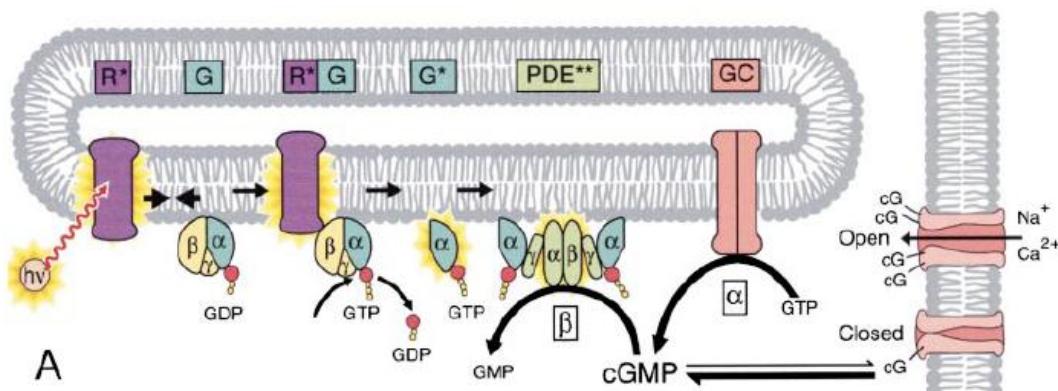


Figura 10 Representação do mecanismo em cascata iniciado pela excitação da proteína rodopsina (pigmento roxo) por Leskov et al. (2000). À direita é enfatizado o estreitamento do canal da membrana, impedindo o fluxo de íons Na^+ e Ca^{2+} .
Fonte: Leskov et al. (2000, p. 526).

Ressalta-se também que uma exposição intensa e prolongada à radiação infravermelha ou óptica pode causar dano nestas células por processos cumulativos (tardios). Uma exposição intensa à radiação UV, por outro lado, pode causar danos imediatos, por processos oxidativos. Altíssimas intensidades em qualquer destas 3 faixas pode causar danos permanentes (queimaduras³⁸) (BACKHAUS; KLIEGL; WERNER, 1998). Além disso, a sensibilidade à luz parece diminuir linearmente com o envelhecimento natural (BACKHAUS; KLIEGL; WERNER, 1998).

³⁸ $\Delta T_{\text{retina}} > 10^\circ\text{C}$ é o limiar para dano térmico.

3.1.4 Considerações finais relacionadas à bioeletrografia

Entender o mecanismo da visão permite concluir que a função visual do olho humano não é unívoca, ou seja, não obtém uma resposta única e exclusiva para cada estímulo: diferentes combinações de intensidades e comprimentos de onda podem resultar na mesma percepção de cor, sendo um inconveniente para a análise de imagens bioeletrográficas (analógicas e digitais).

As variações quantitativas e distributivas das células fotossensíveis na retina entre indivíduos também diminuem a confiabilidade e reproduzibilidade de análises feitas usando o aparelho visual. Além disso, em um mesmo indivíduo pode haver perda de sensibilidade ao longo do tempo.

Por fim, a sensibilidade à mudanças abruptas no ambiente é altamente dependente da intensidade de luz média do ambiente (ver nota 28). No regime intermediário – mesópico (situação usual para observar a descarga corona em um objeto sendo bioeletrografado) – a resposta visual é inadequada para as rápidas mudanças de uma descarga, assim como para notar cores que aparecem por um curto período de tempo. A condição ótima seria em ambiente bem iluminado (regime fotópico), pouco antes da saturação dos cones, porém a descarga corona seria ofuscada pela iluminação ambiente.

Abaixo da saturação, o principal mecanismo para a estabilização dos cones à intensidade de luz ambiente é o aumento na velocidade de resposta visual e a concomitante **diminuição do tempo de integração visual**, fazendo que, embora observadores tornem-se **mais insensíveis à luz à medida que a luminosidade aumente**, eles também se tornam **relativamente mais sensíveis à variações rápidas na luminosidade** (STOCKMAN et al., 2008, p. 5-6, tradução nossa, grifo nosso).

3.2 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Esta seção contém a base da teoria atômica moderna para a correlação do espectro eletromagnético de um objeto com sua composição química e alterações desta.

3.2.1 Radiação térmica e o espectro de um corpo negro

Segundo Eisberg e Resnick (1994):

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica. Todo corpo emite este tipo de radiação para o meio que o cerca e dele a absorve. Se um corpo está inicialmente mais quente do que o meio, ele irá se esfriar, porque a sua taxa de emissão de energia excede à [sic] taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido, as taxas de emissão e absorção são iguais. (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 20).

Um corpo negro é uma idealização de um objeto que absorvesse toda radiação que nele incidisse (sem nada refletir nem transmitir). Se estiver em equilíbrio termodinâmico com o ambiente, tal objeto emitiria toda energia que absorvesse, na mesma composição espectral. Nesta condição, teria seu espectro de emissão completamente descrito por uma única temperatura. Alguns objetos não-ideais (por exemplo, estrelas) podem apresentar emissão espectral semelhante à de corpos negros e terem sua temperatura média e composição química inferidas pela emissão de corpo negro equivalente e pequenos desvios desta (GLASHOW, 1994; TIPLER; MOSCA, 2008). A Figura 11 mostra parte do espectro térmico (restrito ao infravermelho) emitido por dois objetos distintos.

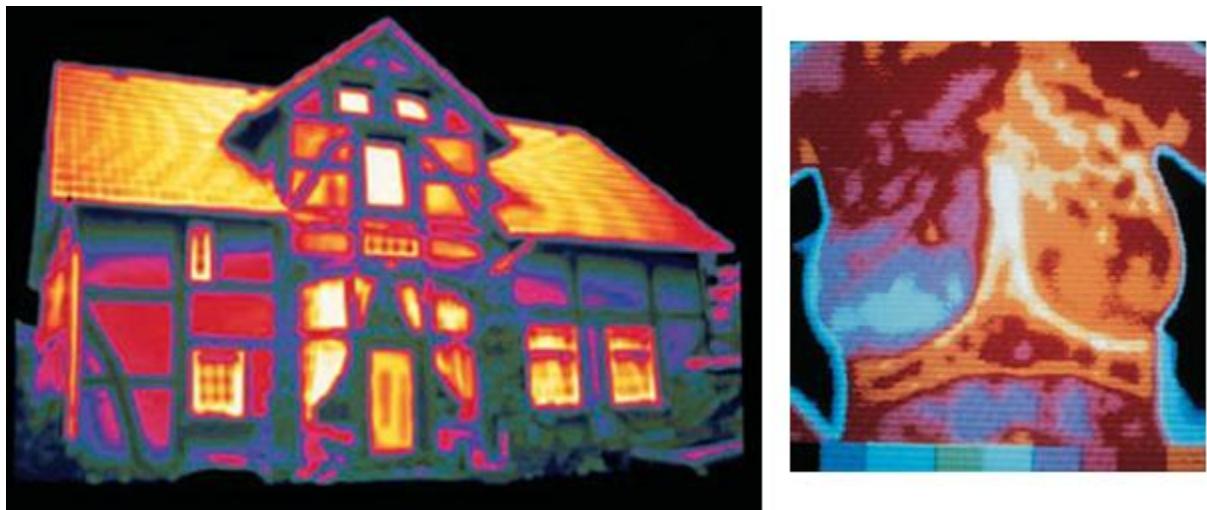


Figura 11 Radiação térmica de objetos, analisada na faixa do espectro térmico no infravermelho. As cores são artificiais, representando a média da potência incida no sensor (em toda a banda de operação): à esquerda, o espectro de uma casa à noite; à direita, do tórax de uma mulher com câncer de mama. A temperatura, neste caso, é maior em torno das células cancerígenas, pois há maior fluxo sanguíneo para multiplicação mais frequente. Adaptado de Tipler e Mosca (2008, p. 677 e 684).

Max Planck fez medições em várias faixas do espectro eletromagnético de um corpo negro. Para uma dedução matemática que descrevesse os dados, analisou a relação da entropia com a temperatura (EINSTEIN, 1905; OLIVEIRA, 2006) e obteve a expressão abaixo, concordante com dados de várias faixas do espectro amplo (ver Figura 12):

$$B_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (\text{Lei de Planck}) \quad (3.2.1)$$

em que B_λ é a radiância espectral, h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda, k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura do corpo.

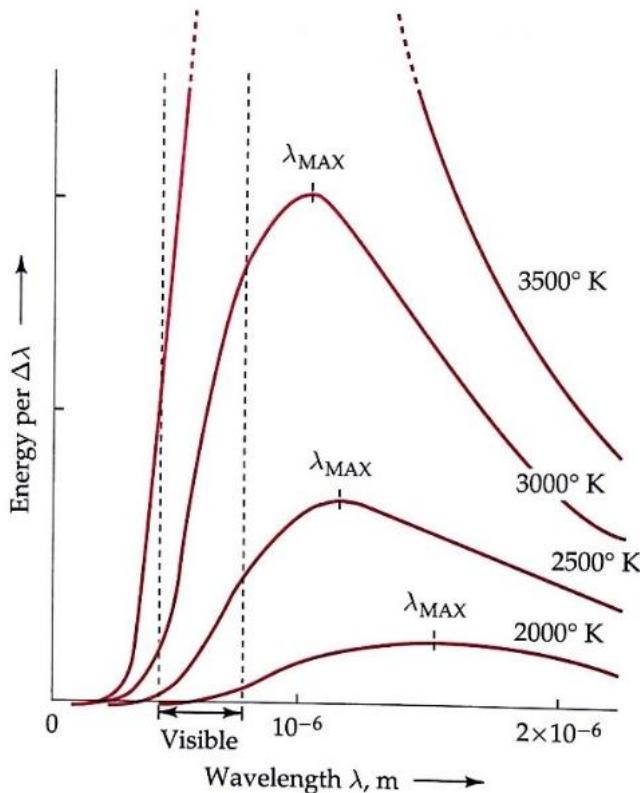


Figura 12 Espectro emitido por um corpo negro. O gráfico desloca para a esquerda com o aumento da temperatura. A curva unindo os pontos de λ_{max} é inversamente proporcional à temperatura (Lei de deslocamento de Wien). Fonte: Glashow (1994, p. 455).

3.2.2 O fóton e o modelo atômico moderno

Em 1905, Albert Einstein interpreta a equação de Planck³⁹ propondo o *quanta* da luz (depois chamado de *fóton*), usando-o para explicar consistentemente o efeito fotoelétrico (EINSTEIN, 1905). “Radiação monocromática de baixa densidade (dentro da validade da formula de radiação de Wien) comporta-se termodinamicamente como se constituído de quantas de energia mutuamente independente de magnitude $(\frac{R}{N})\beta\nu$ ”⁴⁰ (EINSTEIN, 1905, p. [142?], tradução nossa). Desta forma a transferência momento e energia se dá por pacotes discretos. A intensidade da radiação representa a quantidade de fótons, enquanto a energia e o momento linear \mathbf{P} de cada fóton são proporcionais a sua frequência (EINSTEIN, 1905):

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2.2)$$

³⁹ Embora o equacionamento de Planck estivesse conceitualmente incorreto, era o único que reproduzia os dados experimentais em todo o espectro.

⁴⁰ R/N é a constante universal dos gases, β é o coeficiente exponencial de Wien e Planck, e ν é a frequência. Atualmente, esta expressão é simplesmente $h\nu$.

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (3.2.3)$$

Em seguida, Niels Bohr propõe um novo modelo atômico, capaz de descrever a emissão espectral (quantizada) de um átomo de hidrogênio isolado⁴¹. Seu modelo, para ser estável, impõe duas condições (contrárias ao eletromagnetismo clássico de Maxwell):

1. o momento angular \mathbf{L} de cada órbita eletrônica também é quantizado ($L = n\hbar$);
2. elétrons não irradiam energia estando em órbitas estacionárias.

Desta forma, elétrons absorvem ou emitem energia (fótons) apenas quando ejetados do átomo, religados a ele ou quando mudam de uma órbita estacionária para outra, conforme representações das Figura 13 e Figura 14 (GLASHOW, 1994).

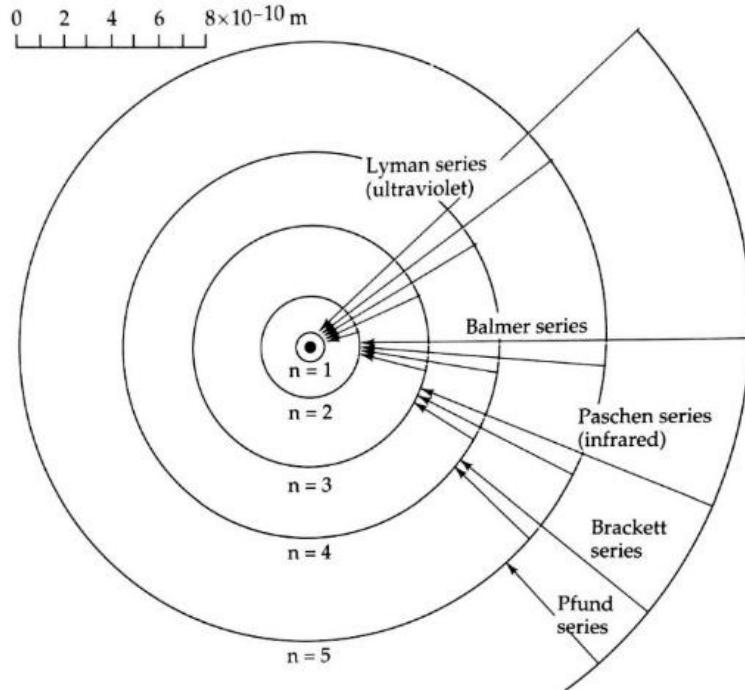


Figura 13 Seis órbitas estacionárias para o Hidrogênio, segundo o modelo de Bohr (não está em escala). As setas indicam transições de camadas exteriores até uma camada específica, determinando a que série pertence a transição. A energia de ligação para cada órbita é $\frac{13.6}{n^2}$ eV. Fonte: Glashow (1994, p. 471).

Os possíveis níveis de energia do elétron em um átomo de hidrogênio isolado (átomo de Bohr) é dado por:

$$E_n = -\frac{m_r Z^2 e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} \cong -\frac{13.6}{n^2} \text{ [eV]} \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (3.2.4)$$

$$m_r = \frac{m_p m_e}{m_p + m_e} \quad (3.2.5)$$

⁴¹ Ou seja, o modelo considera o núcleo em repouso e não considera casos com mais de um elétron no átomo nem interações atômicas ou moleculares (níveis vibracionais e rotacionais de energia).

Sendo:

n – número quântico principal (ou a camada da eletrosfera);

E_n – energia do elétron na camada n ;

m_e e m_p – massa de repouso do elétron e do próton, respectivamente;

m_r – massa de reduzida do sistema (que oscila em torno do centro de massa);

e – carga do elétron;

ϵ_0 – permissividade elétrica do vácuo;

h – constante de Planck;

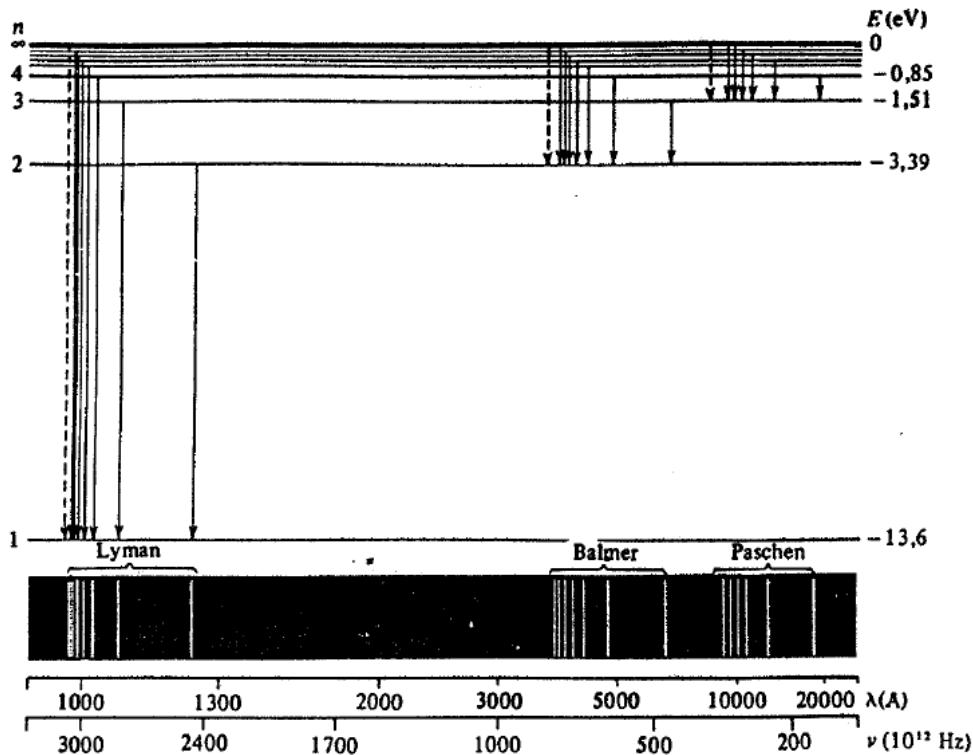


Figura 14 Os quatro primeiros níveis de energia para o átomo de hidrogênio. Fonte: Eisberg e Resnick (1994, p. 144).

Portanto, a energia do fóton que deve ser liberado ($\Delta E < 0$) ou absorvida ($\Delta E > 0$) para o elétron passar do nível n_1 para o nível n_2 é dada por:

$$\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1} = \frac{m_r e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (3.2.6)$$

E as frequências f_{n_1, n_2} dos fótons relacionados a estas transições, algumas cujos respectivos comprimentos de onda são mostrados nas Figura 15, Figura 16 e Figura 17, são dadas por:

$$f_{n_1, n_2} = \frac{|\Delta E|}{h} \cong 3.29 \cdot 10^{15} \left(\left| \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right| \right) \text{Hz} \quad (3.2.7)$$

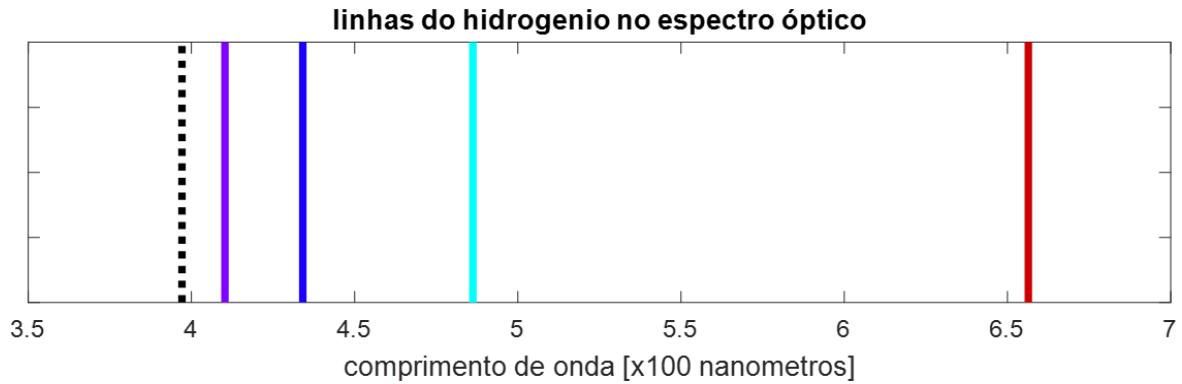


Figura 15 Espectro óptico do hidrogênio, criado pelo código do APÊNDICE C, baseado nas energias em função de n . A estrutura fina e hiperfina não foi considerada.

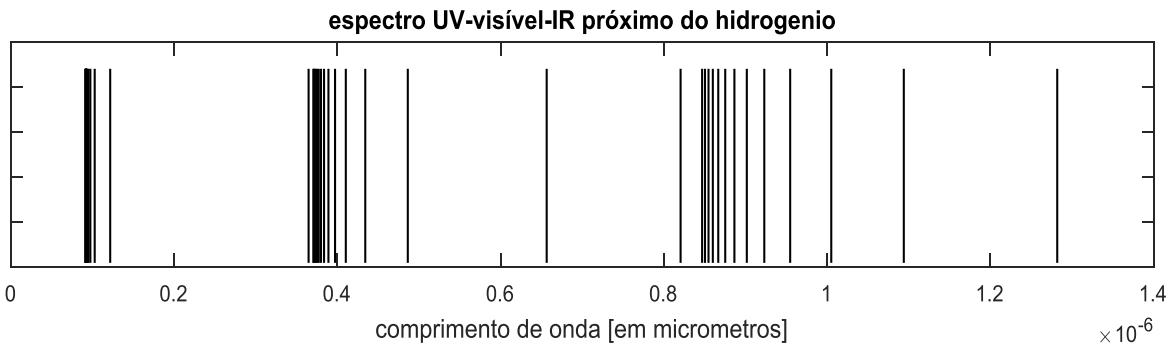


Figura 16 Espectro do hidrogênio relacionado as três primeiras camadas ($n=1,2,3$). A estrutura fina e hiperfina não foi considerada. Feito utilizando o código no APÊNDICE C.

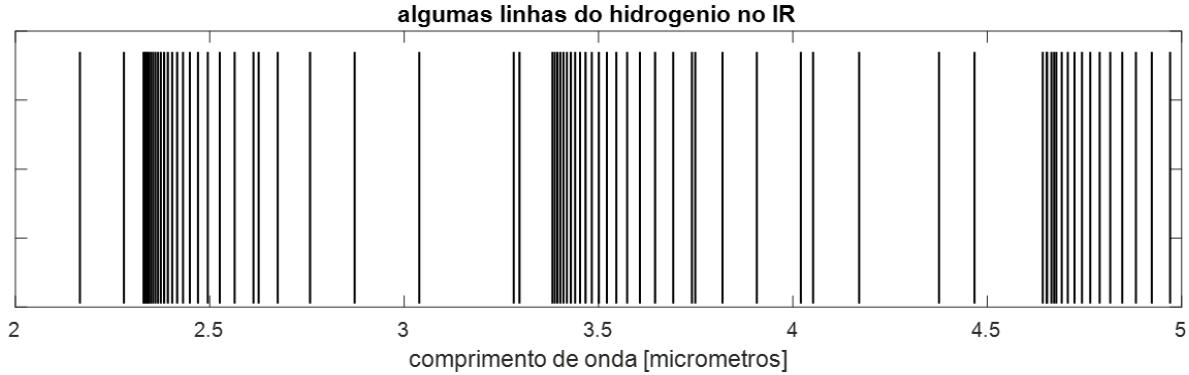


Figura 17 Espectro do hidrogênio em uma faixa do infra-vermelho. A estrutura fina e hiperfina não foi considerada. Feito utilizando o código no APÊNDICE C.

Medições espectrais mais precisas mostraram que o modelo de Bohr falha conceitualmente (mesmo para o hidrogênio), inclusive por não prever a estrutura fina e hiperfina do espectro. Segundo Eisberg e Resnick (1994, p. 378):

[...] As modificações relativísticas feitas por Sommerfeld confere com os desdobramentos da estrutura fina do hidrogênio, mas o acordo é acidental. [...] não explicam o deslocamento de Lamb nem os desdobramentos hiperfinais. [...] A velha teoria quântica [Bohr e Sommerfeld] não é confiável quando explica as regras de seleção e é incapaz de explicar as taxas de transição.

Erwin Schrödinger propôs uma equação, cuja solução é a função de onda relacionada a uma partícula⁴² que contém informações sobre seu estado (YOUNG; FREEDMAN, 2009). $\Psi(x, y, z, t)$ deve satisfazer a equação (3.2.8), reduzindo-se à equação (3.2.9) para estados estacionários.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U(x, y, z) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (3.2.8)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U(x, y, z) \psi = E(x, y, z) \psi \quad (3.2.9)$$

em que E é a energia total da partícula, U é sua energia potencial e m sua massa.

Embora Ψ não tenha significado físico direto, Max Born postulou que $|\Psi|^2$ remonta à uma probabilidade de localização da partícula (vide Figura 18). Segundo Young e Freedman (2009, p. 1365), $|\Psi(x, y, z, t)|^2 dV$ é “a probabilidade de encontrar a partícula dentro de um pequeno volume dV ao redor do ponto (x, y, z) no tempo t ”. Por isso $|\Psi(x, y, z, t)|^2$ é chamada de função de distribuição de probabilidade.

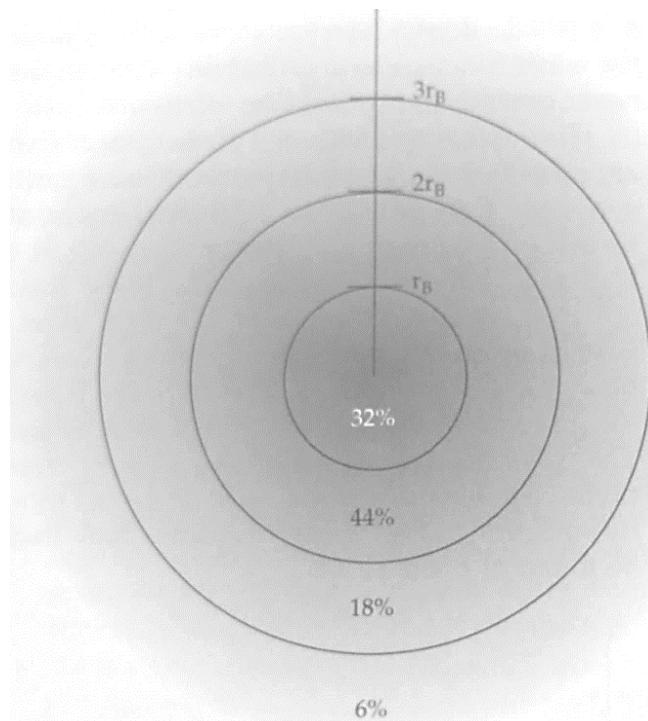


Figura 18 Distribuição de probabilidade para o elétron $1s^1$ no átomo de Hidrogênio. Há 32% de chance de encontrá-lo mais perto do núcleo (dentro de 1 raio de Bohr). Há apenas 6% de chance de encontrar este elétron além de 3 raios de Bohr.
Adaptado de: Glashow (1994, p. 480).

⁴² A equação de Schrödinger não incorpora o comportamento relativístico da natureza. “[...] Em 1928, [Paul] Dirac desenvolveu uma teoria relativística para a mecânica quântica [...] em que [a energia] [...] foi substituída por seu análogo relativístico $E = \sqrt{c^2 p^2 + (m_0 c^2)^2} + V$ ” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 180). A equação de Dirac introduziu teoricamente o conceito de anti-partícula, prevendo a existência da anti-materia. O pósitron foi detectado quatro anos depois (1932). Todavia, ainda é uma teoria incompleta, pois não prevê a criação e destruição de partículas. Isto é descrito pela atual teoria quântica de campos (QFT – *Quantum Field Theory*).

Para o primeiro estado do átomo de hidrogênio ($1s$, com $n = 1$ e $l = 0$), esta função é a seguinte (em coordenadas esféricas):

$$\psi_{1s}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-\frac{r}{a_0}} \quad (a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_r e^2}) \quad (3.2.10)$$

A Figura 19 mostra a distribuição de probabilidade radial do elétron para diferentes estados do átomo de hidrogênio, como soluções da equação de Schroedinger, enquanto a Tabela 1 apresenta as respectivas autofunções.

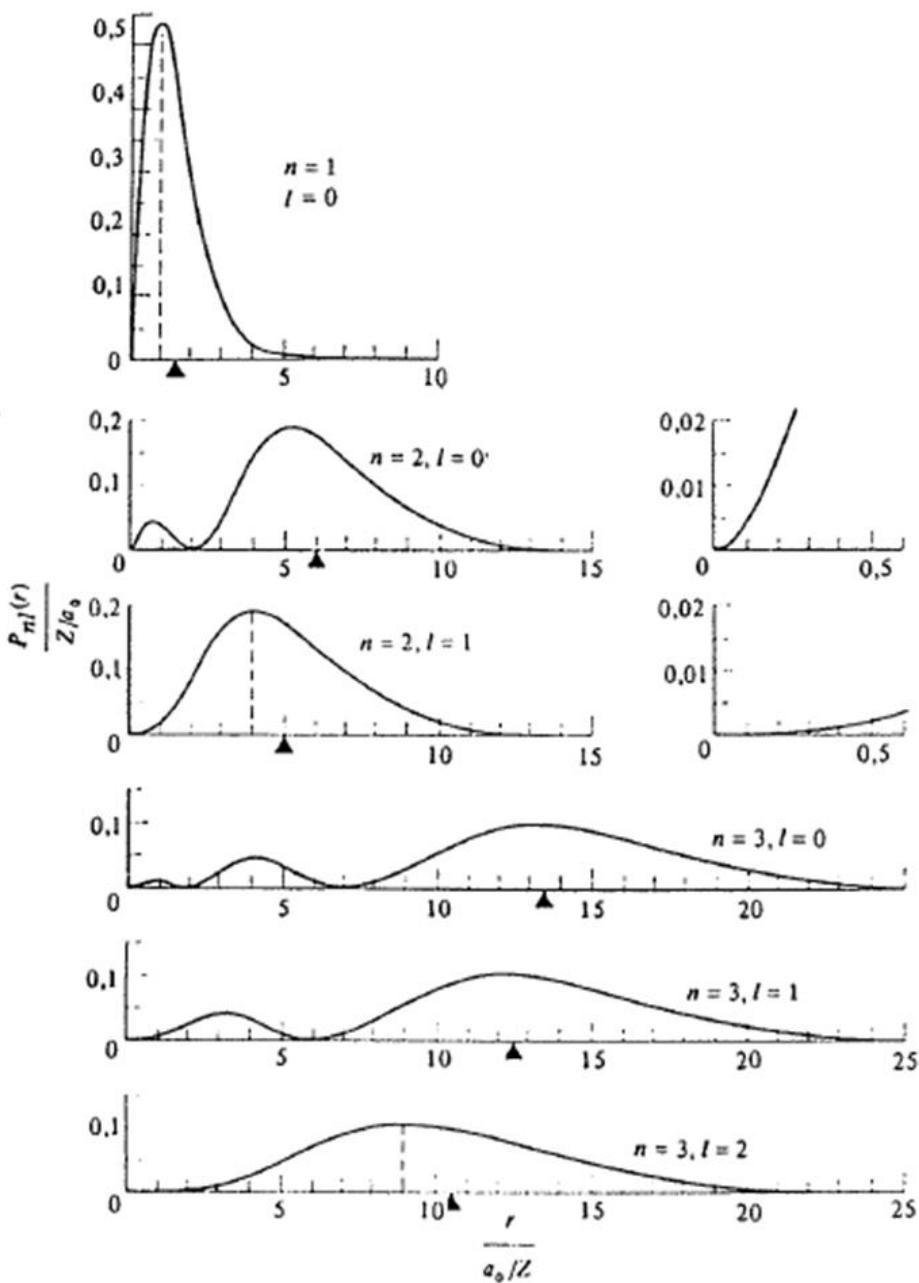


Figura 19 Função de distribuição de probabilidade radial para o átomo de hidrogênio, como soluções das equações de Schroedinger para combinações de n e l , e em função do raio normalizado em relação à a_0 (raio de Bohr). A marca triangular na horizontal indica o raio médio do orbital. Fonte: Eisberg e Resnick (1994, 316).

Tabela 1 Autofunções do átomo de hidrogênio ($Z=1$) ou átomos de Bohr para as três primeiras camadas. Fonte: Eisberg e Resnick (1994, p. 312).

Números Quânticos			Autofunções
n	l	m_l	
1	0	0	$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} e^{-Zr/a_0}$
2	0	0	$\psi_{200} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \left(2 - \frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/2a_0}$
2	1	0	$\psi_{210} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{Zr}{a_0} e^{-Zr/2a_0} \cos \theta$
2	1	± 1	$\psi_{21\pm 1} = \frac{1}{8\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{Zr}{a_0} e^{-Zr/2a_0} \sin \theta e^{\pm i\varphi}$
3	0	0	$\psi_{300} = \frac{1}{81\sqrt{3\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \left(27 - 18\frac{Zr}{a_0} + 2\frac{Z^2r^2}{a_0^2}\right) e^{-Zr/3a_0}$
3	1	0	$\psi_{310} = \frac{\sqrt{2}}{81\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \left(6 - \frac{Zr}{a_0}\right) \frac{Zr}{a_0} e^{-Zr/3a_0} \cos \theta$
3	1	± 1	$\psi_{31\pm 1} = \frac{1}{81\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \left(6 - \frac{Zr}{a_0}\right) \frac{Zr}{a_0} e^{-Zr/3a_0} \sin \theta e^{\pm i\varphi}$
3	2	0	$\psi_{320} = \frac{1}{81\sqrt{6\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{Z^2r^2}{a_0^2} e^{-Zr/3a_0} (3 \cos^2 \theta - 1)$
3	2	± 1	$\psi_{32\pm 1} = \frac{1}{81\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{Z^2r^2}{a_0^2} e^{-Zr/3a_0} \sin \theta \cos \theta e^{\pm i\varphi}$
3	2	± 2	$\psi_{32\pm 2} = \frac{1}{162\sqrt{\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{Z^2r^2}{a_0^2} e^{-Zr/3a_0} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\varphi}$

O espectro de emissão e absorção de cada átomo, sendo função de suas transições eletrônicas, está relacionado aos quatro números quânticos (n, l, m_l, m_s) que definem cada estado de energia $E_{n,l}^*$ de um átomo ou molécula, conforme exemplo na Figura 20. Tais estados são ainda afetados por campos elétricos e magnéticos externos e intrínsecos (efeito Stark e Zeeman) e acoplamentos entre spin, orbitais e núcleos, com precisão limitada pelo princípio da incerteza de Heisenberg (EISBERG; RESNICK, 1994).

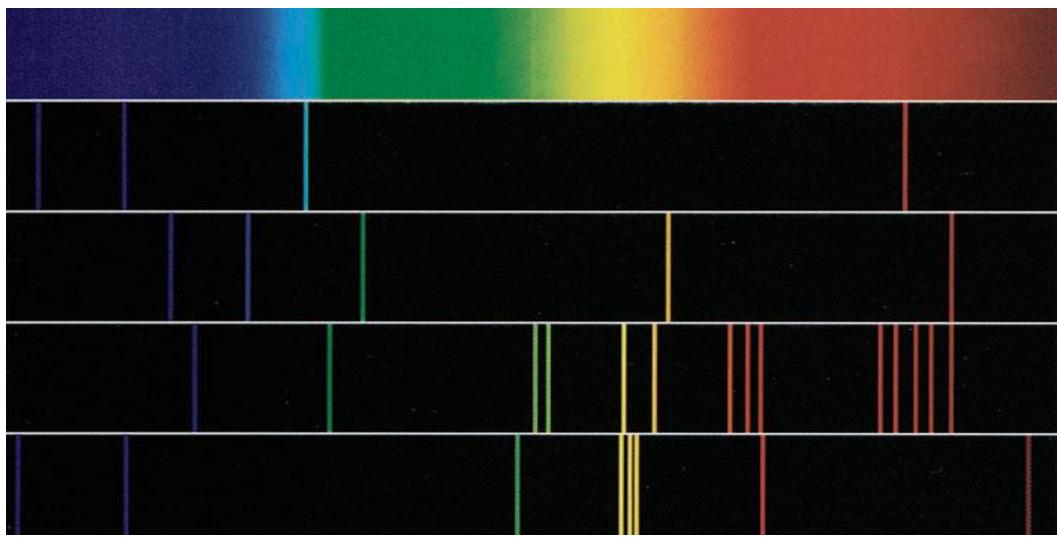


Figura 20 Em cima o espectro óptico contínuo. Da segunda à última, estão algumas linhas de emissão do hidrogênio, hélio, bário e mercúrio, respectivamente. Fonte: Tipler e Mosca (2008, p. 1080).

Na ausência de campos elétricos, o desdobramento dos estados de energia de um átomo monoeletônico pode ser aproximado por:

$$E_{n,l}^* = E_{n,l} + m_l \frac{e\hbar}{2m} B + 2m_s \frac{e\hbar}{2m} B \quad (m_l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots, \pm l \text{ e } m_s = \pm \frac{1}{2}) \quad (3.2.11)$$

Sendo E_n a solução da equação de Schroedinger e \mathbf{B} um campo magnético aplicado.

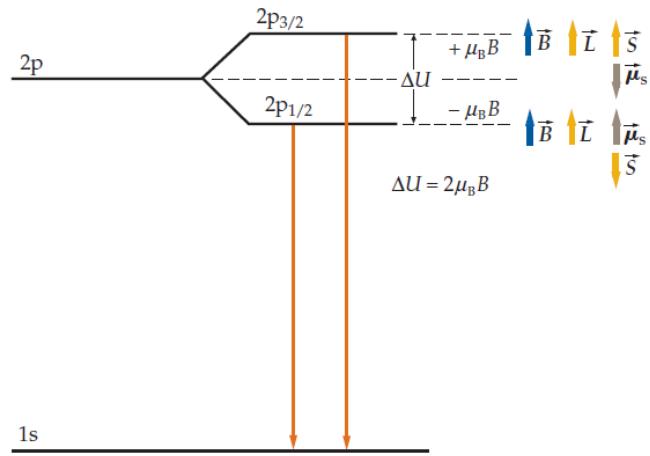


Figura 21 Desdobramento dos níveis de energia devido a um campo magnético. Fonte: Tipler e Mosca (2008, p. 1243).

Com o acoplamento do spin do elétron com seu momento angular orbital, cada nível l , degenerado, desdobra-se em níveis próximos, mas distintos, de energia⁴³, representado na Figura 21, mesmo sem a aplicação de um campo magnético externo (considerando que campos eletromagnéticos sempre existem no domínio atômico). Esta formulação permite

⁴³ Por exemplo, no caso do sódio há um dubleto: a transição $3p(^2P_{1/2}) \rightarrow 3s(^2S_{1/2})$ resulta em uma emissão com $\lambda = 589.6 \text{ nm}$, enquanto a transição $3p(^2P_{3/2}) \rightarrow 3s(^2S_{1/2})$ resulta em uma emissão com $\lambda = 589.0 \text{ nm}$, mostradas na Figura 22, caracterizando o dubleto amarelo do sódio, (TIPLER; MOSCA, 2008).

explicar a estrutura fina do espectro fornecendo estados energéticos diferentes para um mesmo nível n . Segundo Eisberg e Resnick (1994, p. 377):

[...] o desdobramento de estrutura fina dos níveis de energia [...] pode ser quase totalmente explicada acrescentando-se à teoria de Schrödinger correções que levam em conta a interação spin-órbita do elétron e a dependência relativística da massa com a velocidade. Ela será completamente explicada pela teoria de Dirac. [...] Outro grande sucesso das modernas teorias quânticas [Schrödinger, Dirac e a eletrodinâmica quântica] é o tratamento satisfatório dado às taxas de transição e às regras de seleção observadas nas medidas dos espectros emitidos pelos átomos [...].

3.2.3 Regras de seleção, taxas de transição e estados metaestáveis

Medições espectrais revelam que nem todas as transições previstas ocorrem: “observa-se a emissão de fótons unicamente com frequências correspondentes a transições entre níveis de energia cujos números quânticos satisfazem [sic] às *regras de seleção*” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 369, grifo do autor), que são:

$$\{\Delta l = \pm 1\} \text{ e } \{\Delta m_l = 0, \pm 1\} \quad (3.2.12)$$

Das autofunções atômicas, é possível calcular as taxas de transição eletrônicas⁴⁴. Se um átomo tem função de onda associada a um único estado quântico, terá sua densidade de probabilidade constante no tempo. Se a função de onda é uma mistura de duas funções simples, de energias E_1 e E_2 , haverá termos que oscilam no tempo com frequência $\frac{|E_1 - E_2|}{h}$. Nesta situação, a densidade espacial de carga do elétron também não será constante no tempo, mas poderá oscilar como um dipolo elétrico com o centro nuclear do átomo. “Podemos, de fato, usar a fórmula clássica para a taxa de emissão de energia de um dipolo elétrico oscilante para obter os fatores importantes da fórmula que dá as taxas de transição atômicas” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 370).

Assim, “uma regra de seleção específica simplesmente quais transições têm taxas tão pequenas que não podem ser observadas normalmente” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 370, grifo do autor). A consequência disto são as transições que seguem as variações permitidas em l e m_l , mostradas acima (ver Figura 22). Para esta conclusão, deve-se acrescentar resultados da eletrodinâmica quântica (confirmados experimentalmente), que mostra que fótons também têm momento angular, e os emitidos por dipolos elétricos oscilantes possuem momento angular $1h$, portanto $\Delta l = \pm 1$ é necessário para a conservação do momento angular (EISBERG; RESNICK, 1994). Transições com $\Delta l \neq \pm 1$ ainda são possíveis, pois o átomo

⁴⁴ Para mais detalhes, consultar a referência Eisberg e Resnick (1994), capítulo 5 e 8.

emite o fóton como um dipolo magnético oscilante ou um quadrupolo elétrico (cujas probabilidades são reduzidas, geralmente, por um fator de 10^{-4} e 10^{-6} , respectivamente).

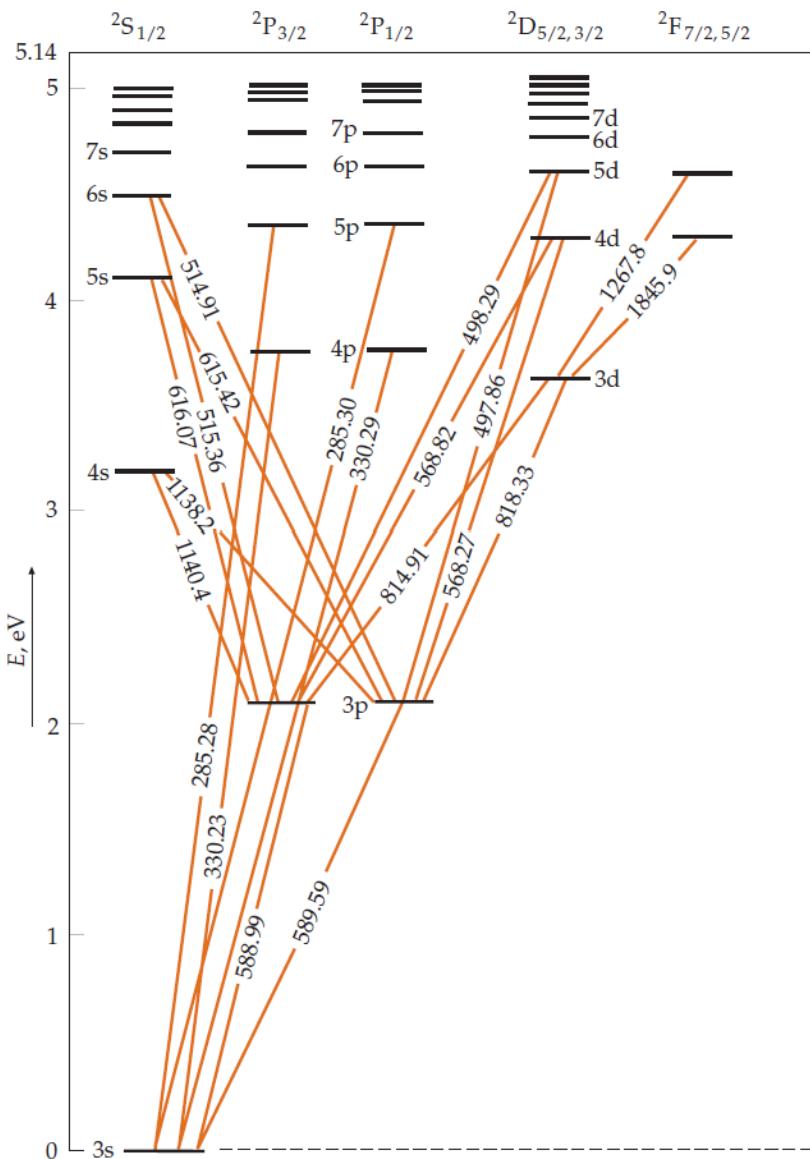


Figura 22 Transições envolvendo alguns níveis do átomo de sódio, obedecendo a regra de seleção. Os dupletos no orbital p são mostrados, com a pequena diferença no comprimento de onda do fóton emitido. Fonte: Tipler e Mosca (2008, p. 1237).

Quando o átomo está em um estado em que só pode emitir um fóton violando as regras de seleção, este estado é chamado metaestável e, por ter taxa de transição muito baixa, possui um tempo de vida muito maior que os estados normais (fosforescência). É neste princípio (e no da inversão de população) que se baseia o funcionamento dos lasers⁴⁵. Eisberg e Resnick (1994, p. 337) ressaltam que:

[...] Na prática, observa-se raramente a fosforescência de átomos porque o estado metastável [sic] é desexcitado, sem a emissão de um fóton, quando o átomo colide com as paredes do recipiente que o contém e transfere diretamente sua energia para os átomos das paredes [...].

⁴⁵ Laser: light amplification by stimulated emission of radiation. Para detalhes do funcionamento, consultar capítulo 31 de Tipler e Mosca (2008) e capítulo 11 de Eisberg e Resnick (1994).

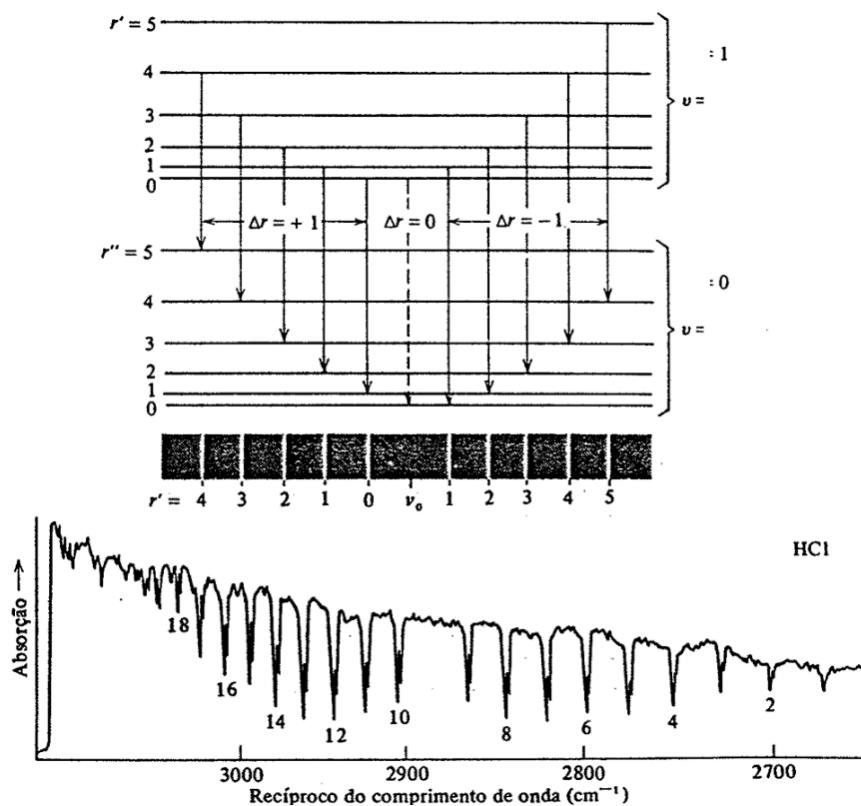


Figura 23 Em cima, transições permitidas pela regra de seleção e a formação de uma banda de linhas igualmente espaçadas. Embaixo, espectro de absorção vibracional-rotacional do HCl, com picos duplos, de frequências e intensidades ligeiramente diferentes, devido à presença relevante dos isótopos Cl³⁵ e Cl³⁷. Fonte: Eisberg e Resnick (1994, p. 543).

Um dos importantes resultados da teoria atômica moderna é a capacidade qualitativa e quantitativa de analisar compostos pelas técnicas espectrográficas. Cada molécula, átomo ou ligação eletrônica apresenta características e alterações previsíveis, mediante a aplicação de campos magnéticos, variações de temperatura, etc. Na Figura 23 há uma curva espectrográfica para o HCl. “[...] A transição vibracional determina a região do espectro e as transições rotacionais determinam a separação das linhas [...]” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 542). Uma análise espectral permite inclusive determinar a abundância relativa dos isótopos nucleares, por terem energias vibracionais ligeiramente diferentes (EISBERG; RESNICK, 1994, TIPLER; MOSCA, 2008).

3.2.4 Considerações finais relacionadas à bioeletrografia

Da análise espectral pode-se obter a composição química de um sistema. As três formas usuais de bioeletrografar um objeto (imagem analógica, digital e visualização em tempo real) dependem fortemente das limitações espetrais do olho, filmes ou câmeras fotográficas usadas. Além disso, também são limitados pela sensibilidade e precisão dos três.

Para se vincular uma alteração na bioeletrografia a uma alteração orgânica, a abordagem espectrofotométrica mostra-se uma das mais confiáveis e específicas, embora seja laborioso determinar a banda espectral a ser analisada e calibrar para identificar quais compostos presentes estão sinalizando a alteração. O fato de átomos e moléculas terem espectro característico e emitirem parte dele à temperatura ambiente possibilita **um novo método de bioeletrografia – a análise espectral da radiação natural⁴⁶ emitida pelo objeto.**

O corpo humano naturalmente emite fótons no espectro óptico que absolutamente diverge do esperado para um corpo negro à 300 K (SCHWABL; KLIMA, [200_]). Além disso, mostrou-se que há correlação estatística dessa emissão natural de fótons (UPE – Ultraweak Photon Emission) com o metabolismo⁴⁷ (no caso de tumores, diabetes, tabagismo, práticas meditativas, etc.) (IVES et al., 2014). Assim, a catalogação de indicadores confiáveis, ainda que, inicialmente, não se saiba qual a correlação química, mostra-se uma área promissora de análise. Associar mudanças no espectro natural com alterações fisiológicas pode aproximar a bioeletrografia de um método clínico de diagnose precoce, rápido, não invasivo e portátil. Esta abordagem será detalhada na seção 5.2 ANÁLISE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

3.3 RUPTURA DIELÉTRICA EM GASES

3.3.1 Ionização natural

Em condições ambientais, os gases são ótimos isolantes elétricos (KUFFEL; ZAENGL, 1984). Em campos elétricos fracos, todavia, haverá sempre uma (pequena) corrente de fuga (I_o), pois parte das moléculas estão naturalmente ionizadas, havendo elétrons livres nos gases. Esta fraca ionização natural decorre primeiramente da incidência de radiações naturais de alta

⁴⁶ Espectro “térmico” não ideal considerando-se, a priori, emissões em todo o espectro eletromagnético.

⁴⁷ Grande parte dos trabalhos vinculam essa emissão óptica ultrafraca com espécies de oxigênio reativa. “[...] Estudos anteriores estabeleceram a interdependência entre várias doenças e intensidade da UPE medindo diferenças entre a luminescência do sangue de pessoas saudáveis e doentes. UPE de sangue de pacientes com diabetes mellitus, carcinomas e hiperlipidemia mostraram maior emissão que de amostras de pessoas saudáveis” (IVES et al., 2014, p. 2).

energia absorvidas pelo sistema (proveniente de átomos radioativos e radiações cósmicas), e do efeito térmico⁴⁸ (ABDEL-SALAM et al., 2000; KUFFEL; ZAENGL, 1984).

Em temperatura ambiente, as moléculas de um sistema estão sempre em movimento, interagindo umas com as outras, podendo causar a ejeção de um elétron que tenha baixa energia de ligação⁴⁹ pela transferência de parte da energia cinética a ele. Este é o efeito térmico, que também tende a descentralizar a energia do sistema, ou seja, mesmo com uma perturbação local, após algum tempo a energia média de cada molécula tende a ficar próxima da energia média do sistema. Por outro lado, as radiações naturais de alta energia, quando interagem com alguma molécula, podem ejetar elétrons que tenham alta energia de ligação. Estes elétrons ejetados possuem alta velocidade e após inúmeros choques, transferências de energia por colisão ou por emissão de fótons, e subsequente interações com outras moléculas, tem-se a descentralização desta alta energia (efeito térmico), resultando em algumas moléculas em estado excitado e outras ionizadas, deixando sempre o sistema com uma porcentagem de elétrons livres.

3.3.2 Visão geral da ruptura dielétrica

A partir desta concentração inicial de elétrons livres, ao submeter-se um dielétrico a um fraco campo elétrico, um fluxo de cargas se estabelece, caracterizando uma corrente de fuga I_0 . Deste ponto em diante, a ruptura dielétrica pode evoluir de várias maneiras. As três principais modelagens são: o mecanismo de Townsend, que predomina em uma faixa de pd ⁵⁰, em campos constantes e uniformes; a descarga corona, que predomina em campos altamente não-uniformes; e o mecanismo *Streamer*, que predomina em altas pressões.

Considerando que o dielétrico esteja submetido a uma tensão CC por eletrodos de placas paralelas, um campo elétrico aproximadamente uniforme se estabelece, e o mecanismo de ruptura pode ser aproximado por uma descarga de Townsend. Analisando a Figura 24⁵¹, se a tensão aumenta além de V_2 , as cargas em movimento estão adquirindo energia cinética suficiente para tornar relevante novas ionizações por colisão. O número de elétrons livres que chegam ao ânodo aumenta, aumentando a corrente. Este processo (entre V_2 e V_3 , na Figura 24) é chamado de **avalanche primária** de elétrons (ABDEL-SALAM et al., 2000).

⁴⁸ Além dos fenômenos de ionização, elétrons livres também podem ser gerados por núcleos radioativos, através do decaimento β^- ($n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$), aniquilação de dois fótons γ , gerando um par elétron-pósitron e outras interações subatômicas.

⁴⁹ Para mais detalhes, ver APÊNDICE B.

⁵⁰ Pressão vezes distância.

⁵¹ A Figura 35 é uma representação mais completa deste mecanismo.

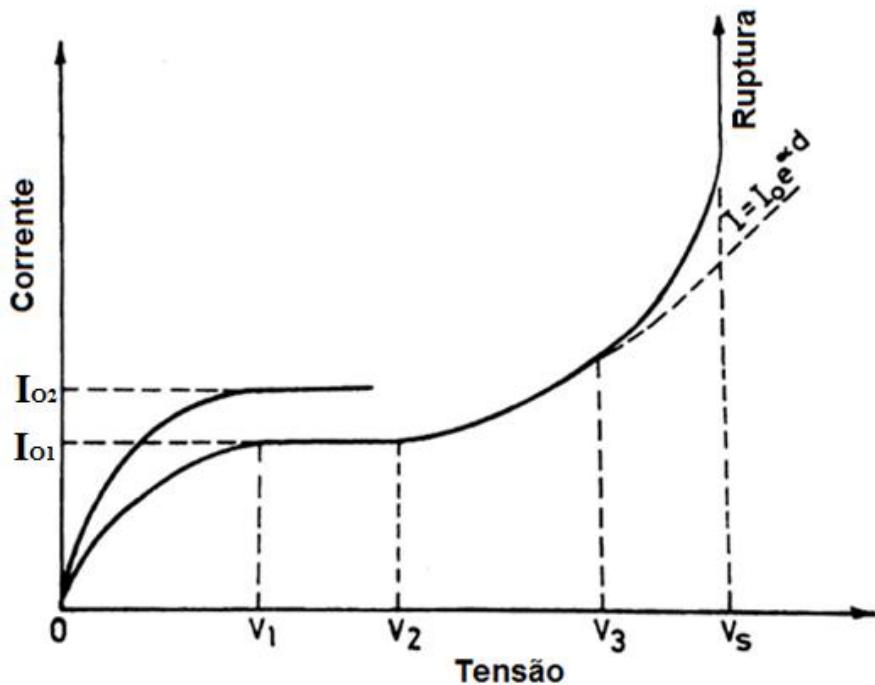


Figura 24 Mecanismo de Townsend; curva de crescimento médio da corrente em função da tensão aplicada em um dielétrico gasoso. A incidencia de radiação ultravioleta pode aumentar o patamar I_{o1} para I_{o2} , sem contudo afetar V_s . Fonte: ABDEL-SALAM et al. (2000, p. 119, adaptado).

Um terceiro estágio predomina ao aumentar-se mais a tensão (entre V_3 e V_s , na Figura 24), pois efeitos secundários tornam-se relevantes, ejetando mais elétrons do cátodo⁵² ou aumentando a fotoionização⁵³ no próprio dielétrico, criando avalanches secundárias e amplificando ainda mais a corrente elétrica (ABDEL-SALAM et al., 2000). Se a tensão continuar aumentando, haverá um valor crítico V_s ⁵⁴, em que o dielétrico está altamente ionizado, favorecendo rupturas dielétricas de alta energia (em forma de faísca ou arco). Faíscas esporádicas ocorrem quando há uma ruptura intensa e subsequente regeneração do dielétrico; um arco-elétrico ocorre quando o dielétrico passa para o estado de “plasma frio”⁵⁵ (KUFFEL; ZAENGL, 1984; LIU et al., 2014; MERRILL; HIPPELL, 1939; STAACK et al., 2005).

Cada colisão produz fótons que ora são reabsorvidos no próprio meio, contribuindo na excitação ou fotoionização de outras moléculas, ora escapam para o exterior, contribuindo na análise da ruptura dielétrica (sendo estes usados para o registro bioeletrográfico).

⁵² *Field emission* – este efeito descreve a ejeção de elétrons do cátodo pelo intenso gradiente do campo elétrico nas microrugosidades do eletrodo. A partir de V_3 , na Figura 24, tanto a ionização por colisão quanto o efeito fotoelétrico contribuem significativamente para intensificar a ejeção de elétrons do cátodo (ver subseção 3.3.5 **Mecanismo de Townsend – avalanches secundárias**, e nota 60).

⁵³ Ionização de moléculas do dielétrico pela absorção de fótons. Mais detalhes no item 3.2 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA e no APÊNDICE B.

⁵⁴ V_s é um valor estatístico e dependente das condições do sistema (como composição do meio, configuração do campo elétrico, pressão, temperatura).

⁵⁵ Assim referido para ressaltar que, embora esteja altamente ionizado, sua temperatura (energia cinética média dos elétrons e íons) é muito inferior ao estado de plasma, encontrado tipicamente em corpos estelares, tornando-o circunscrito à região de intenso campo elétrico.

3.3.3 Lei de Paschen

O limiar de ruptura V_s , para campos uniformes, segue a lei de Paschen (cujo formato geral é mostrado na Figura 25) e é função do gás, da distância “ d ” entre os eletrodos e de sua pressão “ p ” (ou densidade “ ρ ”, considerando o efeito da temperatura). A Tabela 2 relaciona o valor de V_s e de pd para alguns gases.

Tabela 2 - V_s para vários gases, para diferentes valores de pd . Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 123).

Gas	V_s [V]	pd em V_s [Pa.m]
Air	327	0.754
^{18}Ar	137	1.197
H_2	273	1.530
^2He	156	5.320
CO_2	420	0.678
N_2	251	0.891
N_2O	418	0.665
O_2	450	0.931
S_2O	457	0.439
H_2S	414	0.798

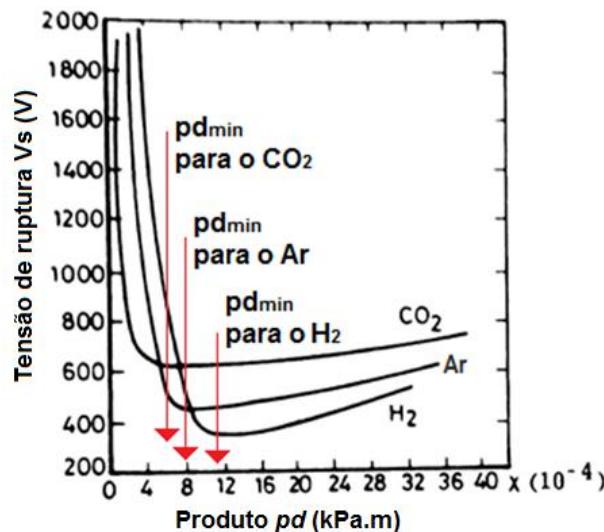


Figura 25 Curva característica da tensão de ruptura V_s pelo produto pd , para três diferentes meios. Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 122, editado).

Para valores de pd maiores que pd_{min} , a tensão de ruptura aumenta, pois o ganho médio de energia cinética dos elétrons diminui, enfraquecendo a avalanche. Isto ocorre por dois motivos principais: i) pela redução do caminho livre médio (com o aumento de p), reduzindo o tempo médio de aceleração do elétron; ii) pela redução do campo elétrico médio (com o aumento de d), reduzindo a aceleração média sobre o elétron.

Para valores de pd menores que pd_{min} , a tensão de ruptura também aumenta (em relação ao valor em pd_{min}), pois o número de novos elétrons formados na avalanche diminui, também por dois motivos principais: i) com a redução de p , embora o caminho livre médio aumente, a probabilidade de colisões e, por conseguinte, de formação de novos íons, diminui; ii) com a redução de d o gradiente do campo elétrico aumenta, aumentando a energia cinética média dos elétrons, diminuindo a probabilidade de interação (ou seja, diminuindo a transferência média de energia) em relação ao ponto mínimo, reduzindo o potencial de ionização.

3.3.4 Mecanismo de Townsend – avalanche primária

A avalanche primária de Townsend é um estágio em que a corrente é muito maior que o patamar I_o . Ocorre devido a um efeito de ionização em cascata, em que a colisão entre elétrons e moléculas aumenta o número de elétrons livres, representado na Figura 26.

Para n_0 elétrons saindo do cátodo tem-se a formação de n_x elétrons livres a uma distância x da placa, conforme a Figura 23 (ABDEL-SALAM et al., 2000).

$$n_x = n_0 e^{\alpha x} \quad (3.3.1)$$

sendo α o primeiro coeficiente de ionização de Townsend⁵⁶.

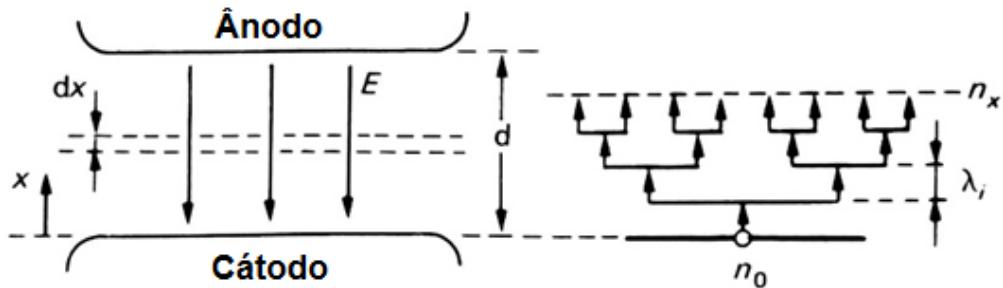


Figura 26 Representação da multiplicação de elétrons pelo mecanismo de avalanche. n_x é o número de elétrons livres a uma distância x do cátodo e λ_i representa o caminho livre médio do elétron (ver Apêndice A). Adaptado de: Kuffel e Zaengl (1984, p. 314).

$$I_\alpha = \frac{N}{\Delta t_N} n_{(x=d)} = \frac{N * n_0}{\Delta t_N} e^{\alpha d} \quad (3.3.2)$$

$$I_\alpha = I_o e^{\alpha d} \quad (3.3.3)$$

⁵⁶ α é um valor estatístico e varia com o material, com a temperatura e com a relação (campo elétrico)/(pressão) a que o gás esteja submetido.

Ressalta-se que a corrente I_α da descarga de Townsend (corrente I, entre V_2 e V_3 , na Figura 24) é uma média da sequência de *clusters* de elétrons que chegam ao ânodo (ver Figura 27 e Figura 31):

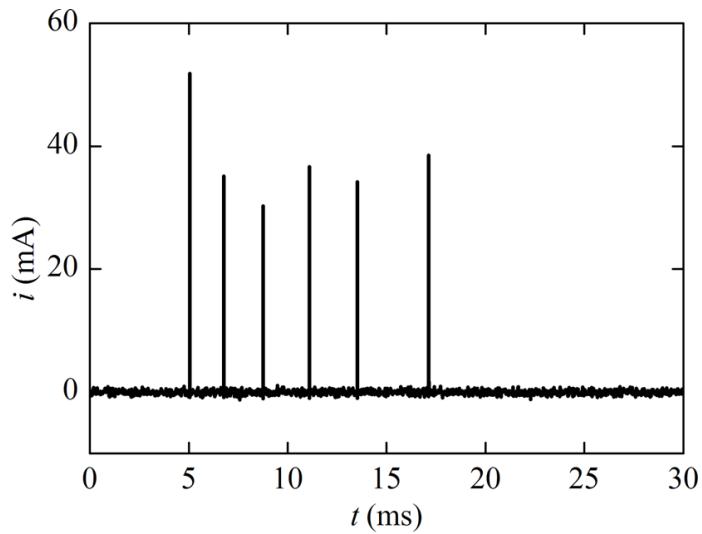


Figura 27 Pulsos de corrente espaçados, caracterizando avalanches primárias (isoladas). A média destes pulsos representa a corrente I_α , muito inferior aos picos observados.

O efeito avalanche acontece em tempo suficientemente curto, sendo formada uma “cauda quase-estacionária” de cátions (representada na Figura 28 e Figura 32) dado a grande diferença entre as mobilidades destes com a dos elétrons (ABDEL-SALAM et al., 2000; LIU et al., 2014). A Figura 29 representa a distorção do campo elétrico pouco antes do término da avalanche, que reforça a propagação da avalanche.

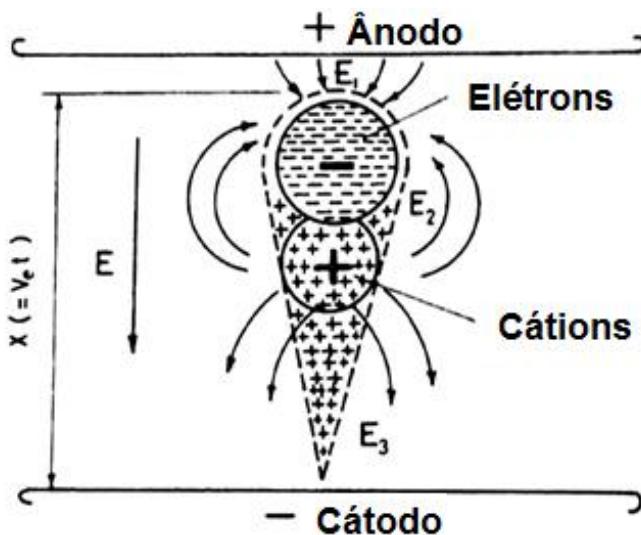


Figura 28 Distribuição de cargas em uma avalanche primária iniciada por um elétron. Nota-se que há duas regiões em que o campo elétrico resultante fica maior que o campo E aplicado (E_1 e E_3), e uma região em que o campo resultante fica menor (E_2). Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 117, adaptado).

Esta distorção tende a desaparecer⁵⁷, com o deslocamento da cauda até o cátodo (LIU et al., 2014) ou sua neutralização, retornando o dielétrico à situação natural (cargas livres devido ao efeito térmico e às radiações cósmicas). Se o campo elétrico é suficientemente intenso, efeitos secundários são relevantes provocando avalanches secundárias antes que a cauda positiva seja desfeita (ABDEL-SALAM et al., 2000; KUFFEL; ZAENGL, 1984).

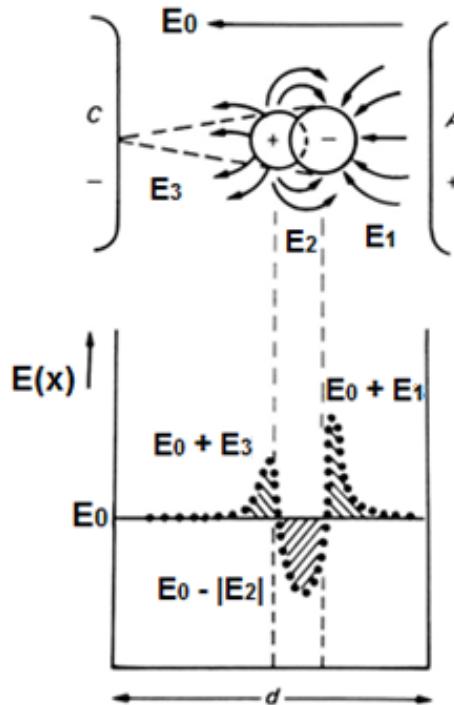


Figura 29 Diagrama representativo da distorção do campo elétrico causado pela distribuição de cargas durante a avalanche da Figura 28. Adaptado de Kuffel e Zaengl (1984, p. 347).

3.3.5 Mecanismo de Townsend – avalanches secundárias

Com o aumento da tensão a equação (3.3.3) falha em descrever o crescimento da corrente⁵⁸, pois se torna necessário considerar fenômenos secundários de ionização (região entre V_3 e V_S , na Figura 24) e o deslocamento da distribuição de energia cinética dos elétrons⁵⁹, reduzindo o tempo entre as avalanches, aumentando a corrente média.

Uma nuvem eletrônica mais densa aumenta a quantidade de elétrons da avalanche que se religam às moléculas, aumentando a densidade de fôtons. Isto favorece a ejeção de mais elétrons, não só na avalanche primária, como em outras regiões do dielétrico, até mesmo no

⁵⁷ Segundo Liu et al.: “Após a extinção da [...] descarga, a nuvem positiva restante começa a mover-se sob a força do campo elétrico total” (LIU et al., 2014, p. 082108-8, tradução nossa).

⁵⁸ Mesmo considerando a variação de α com a tensão, a equação (3.3.3) resulta em valores inferiores aos experimentais (ABDEL-SALAM et al., 2000; KUFFEL; ZAENGL, 1984).

⁵⁹ Ver distribuição de energia cinética de Maxwell-Boltzmann, no **APÊNDICE B**.

cátodo⁶⁰, intensificando a avalanche primária e ramificando-a (mostrado na Figura 30) (ABDEL-SALAM et al., 2000; MERRILL; HIPPELL, 1939).

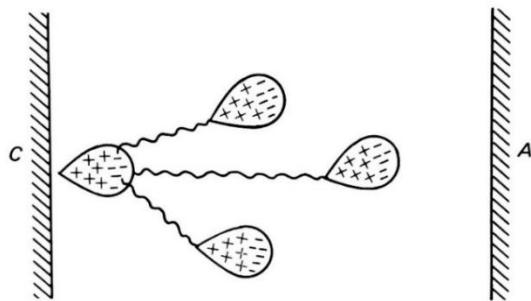


Figura 30 Representação de avalanches secundárias (ao meio) sendo iniciadas por fótons provenientes da avalanche primária (à esquerda). Fonte: Kuffel e Zaengl (1984, p.350).

Segundo Liu et al. (2014), o impacto da nuvem eletrônica no ânodo representará um pulso de corrente, seguido por outros de amplitude menor (conforme Figura 31), devido a avalanches secundárias facilitadas pela distorção do campo elétrico causado pela cauda positiva:

No modo *burst corona*⁶¹, a distorção do campo devido à distribuição espacial de cargas é geralmente zero no momento da avalanche primária, enquanto que a distribuição espacial de cargas no disparo das avalanches secundárias têm valor considerável. (LIU et al., 2014, p. 082108-8, tradução nossa, grifo nosso).

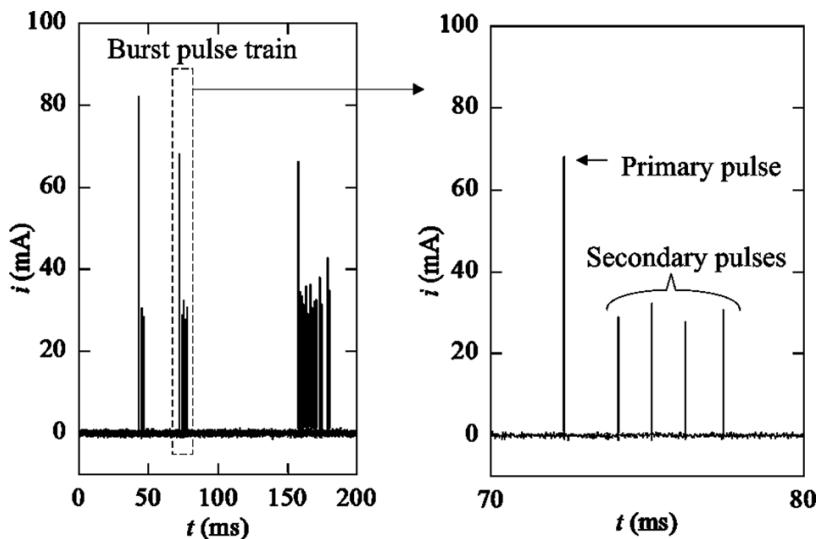


Figura 31 Medição da corrente de uma descarga corona com osciloscópio de alta resolução. A corrente média, geralmente observada, é a média de vários picos (bursts) de correntes, ou seja, de várias rupturas e regenerações do dielétrico. Fonte: Liu et al. (2014, p. 082108-3).

⁶⁰ O impacto de cátions no cátodo também pode ejetar elétrons deste (BESSIÈRES; PAILLOL; SOULEM, 2004), porém este fenômeno só é relevante em condições onde a relação E/λ_m (campo elétrico / caminho livre médio do cátion) for muito maior (MERRILL; HIPPEL, 1939). Um cátion, sendo mais volumétrico que o elétron terá, naturalmente, um caminho livre médio menor que este, nas mesmas condições de pressão. Além disso, sendo mais massivo acelera muito mais devagar que um elétron, quando submetidos a um mesmo campo elétrico. Por último, o potencial de transferência de energia cinética de um elétron é muito maior que de um cátion. Isto é equacionado no **APÊNDICE B**.

⁶¹ “De acordo com diferenças elétricas e visuais, Trihn dividiu a descarga corona positiva em quatro modos: *burst corona*, *onset streamers* [...], *positive glow* e *streamers breakdown*, na ordem crescente de intensidade”. (LIU et al., 2014, p. 082108-1, tradução nossa, grifo nosso).

Portanto a corrente é composta de pulsos intermitentes, com picos bem separados, conforme mostrado nas Figura 27 e Figura 31.

Nesta etapa, a corrente média é função de α e γ , sendo este o segundo coeficiente de Townsend⁶², que relaciona β (elétrons ejetados por mecanismos secundários) e n_d (elétrons gerados na avalanche primária) (ABDEL-SALAM et al., 2000).

$$\gamma = \frac{\beta}{n_d} \quad (3.3.4)$$

A equação (3.3.3) deve ser corrigida para:

$$I = \frac{I_\alpha}{1 - \gamma e^{\alpha d}} \quad (3.3.5)$$

Quando $\beta \rightarrow 0$, $\gamma \rightarrow 0$, ou seja, os efeitos secundários são desprezíveis e $I \rightarrow I_\alpha$. Quando $\beta \rightarrow n_o$, $\gamma \rightarrow \frac{1}{e^{\alpha d}}$, e a equação (3.3.5) mostra que a corrente aumenta abruptamente, tornando o efeito autossustentado⁶³.

Por fim, resta acrescentar que o patamar I_o (a corrente de fuga saturada) pode ser deslocado (ver I_{o1} e I_{o2} na Figura 24) mediante aplicação de radiação eletromagnética apropriada no cátodo, que depende da função trabalho do eletrodo (EINSTEIN, 1905). Os elétrons extras ejetados pela incidência de radiação UV no cátodo (que elevariam o patamar I_{o1} para I_{o2}) não alteram o valor de V_s , pois são compensados na fase de avalanches secundárias, quando seriam ejetados naturalmente por emissão termiônica, fotoelétrica ou pela distorção local do campo. Por outro lado, Bessières, Paillol e Soulem (2004) mostraram que pulsos de corona negativa podem ser iniciados pouco abaixo da tensão de ruptura no momento que foca-se um laser na região entre os eletrodos.

3.3.6 Interações sucessivas

Os elétrons no átomo tendem a ocupar estados de mínima energia⁶⁴. Se um elétron recebe energia (por colisão⁶⁵ ou absorção de um fóton), é ejetado ou permanece por um tempo

⁶² γ varia com os mesmos fatores que α , inclusive com a relação (campo elétrico)/(pressão).

⁶³ Na prática, haverá fortes descargas coronas, geralmente luminosas, mudando novamente a dinâmica do gráfico corrente vs tensão. Isto é detalhado no item 3.4 DESCARGA CORONA (ver Figura 35).

⁶⁴ Ver subseção 3.2.2 O fóton e o modelo atômico moderno.

⁶⁵ Conservou-se o termo colisão para manter o vínculo com as seções anteriores, porém uma colisão entre duas partículas não existe, sendo apenas uma aproximação da interação entre duas funções de ondas (partículas) espacialmente próximas, mediadas por fótons, da mesma forma que as interações entre partículas distantes. Ressalta-se que toda interação eletromagnética é mediada por fótons, que faz a transferência de energia e momento entre partículas eletricamente carregadas.

em algum estado excitado até retornar a estados menos energéticos, emitindo fótons. Como mostrado na subseção **3.2.3 Regras de seleção, taxas de transição e estados metaestáveis**, as transições eletrônicas comuns satisfazem as *regras de seleção* (equação 3.2.12), havendo transições permitidas (muito mais prováveis) com $\Delta l = 1$ e $\Delta m_l = -1, 0$ ou 1 , e transições proibidas (pouco prováveis⁶⁶), com $\Delta l \neq 1$. Por isso, estados excitados que só podem decair por meio de transições proibidas tem probabilidade muito baixa de decaimento espontâneo e, portanto, um tempo de vida muito maior que os outros⁶⁷, sendo chamados de estados metaestáveis (ABDEL-SALAM et al., 2000; EISBERG; RESNICK, 1994; TIPLER; MOSCA, 2008).

Moléculas que apresentam estados metaestáveis tem maior probabilidade de ionização por absorções consecutivas de fótons de energia inferior à de ionização e/ou colisões sucessivas de elétrons, sendo que uma leva o elétron a um estado metaestável e outra ejeta-o (ABDEL-SALAM et al., 2000; TIPLER; MOSCA, 2008).

Para estados excitados comuns também há probabilidade de ocorrer uma ionização por absorções ou colisões sucessivas, mas isto só torna-se relevante quando a densidade de fótons ou elétrons é muito alta⁶⁸ aumentando a probabilidade de absorção consecutiva de fótons em intervalos muito curtos.

3.3.7 Mecanismo *streamer*

Uma última análise a se acrescentar no fenômeno de ionização e ruptura dos gases é o mecanismo *Streamer*, que complementa a avalanche de elétrons pelo mecanismo de Townsend (ABDEL-SALAM et al., 2000, p. 124). A Figura 32 apresenta avalanches secundárias ocorrendo próximas à avalanche primária, aumentando a largura do canal de íons positivos e acrescentando íons negativos, até que a região esteja com alta concentração de íons, transformando-a em “plasma-frio”, rompendo o dielétrico. Segundo Abdel-Salam et al. (2000, p. 125) este mecanismo domina o mecanismo de Townsend para valores de pd acima de 15 $kPam$.

⁶⁶ “[...] pois uma regra de seleção específica simplesmente quais transições tem taxas [de transição] tão pequenas que não podem ser observadas normalmente” (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 370).

⁶⁷ Enquanto a vida média de um estado excitado comum é da ordem de 10 ns (EISBERG; RESNICK, 1994), a de estados metaestáveis é de milissegundos ou até segundos (ABDEL-SALAM et al., 2000; TIPLER; MOSCA, 2008).

⁶⁸ A incidência de lasers produz alta densidade local de fótons. Bessières, Pailol e Soulem (2004) mostram que o limiar de descarga corona pode ser reduzido pela aplicação focada de um laser. Um meio altamente ionizado também pode fornecer alta densidade de fótons, através do grande número de elétrons religantes.

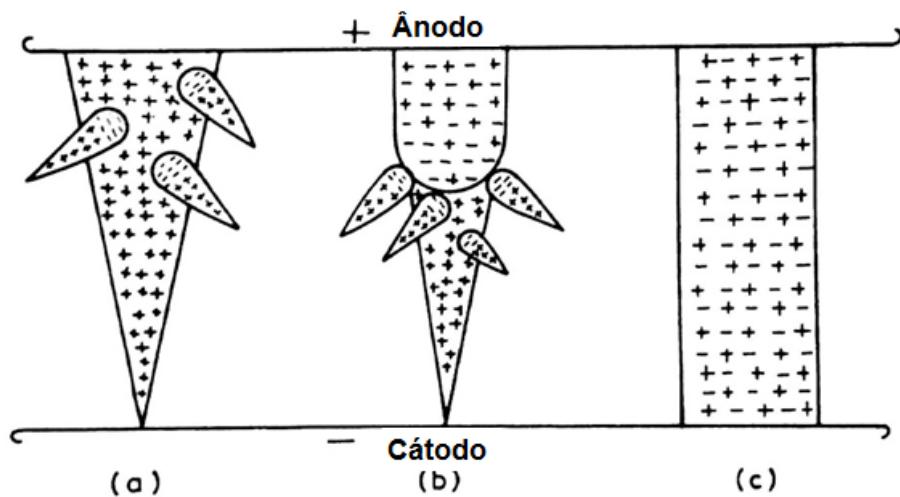


Figura 32 Mecanismo streamer como proposto por Meek e Loeb: (a) a avalanche chega ao ânodo deixando a cauda estacionária positiva, que é perturbada por avalanches secundárias próxima ao ânodo; (b) um canal altamente ionizado se estende do ânodo ao cátodo, conectando avalanches secundárias; (c) o canal se completa, chegando ao cátodo, formando um caminho de baixa impedância entre os eletrodos. Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 124).

Com uma montagem simples⁶⁹ (ver Figura 33b), pode-se observar o formato geral de uma ruptura dielétrica e constatar sua dependência em relação à polaridade dos eletrodos. A Figura 33a abaixo mostra esta relação.

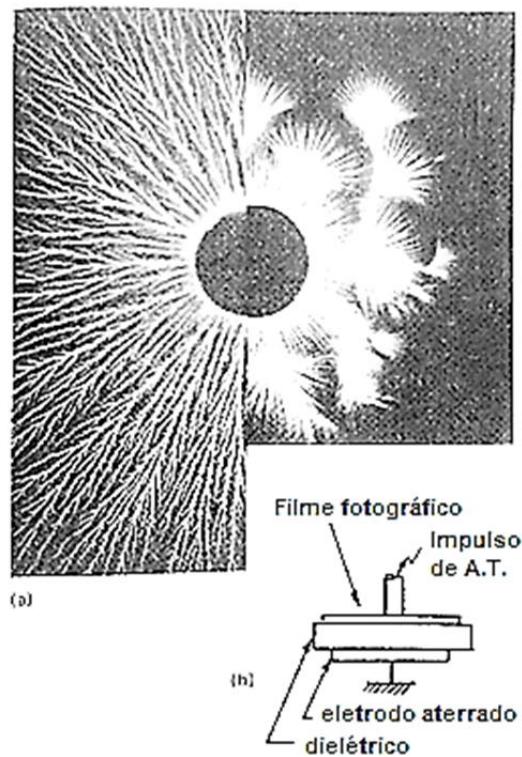


Figura 33 Comparação do formato padrão de rupturas dielétricas por tensão DC, em relação à distribuição espacial e extensão, para polaridade: (a) positiva e (b) negativa do eletrodo pontiagudo. Fonte: Abdel-Salam (2000, p. 157, editado).

⁶⁹ Esta montagem é semelhante à que será utilizada no capítulo 4 para obter-se as imagens bioeletrográficas.

3.4 DESCARGA CORONA

Na seção anterior foi descrito o mecanismo geral de ruptura dielétrica em gases, enquanto nesta aborda-se particularidades do fenômeno para rupturas de energia média⁷⁰ (acima da descarga de Townsend, mas insuficientes para ionizar totalmente o dielétrico).

3.4.1 Impactos causados por descarga coronas

Descargas coronas podem ser prejudiciais em linhas de transmissão em alta e extra alta tensão, aumentando perdas, desgastando isoladores e comprometendo a transmissão de sinais moduladores que passarem pelas linhas de extra alta tensão (ABDEL-SALAM et al., 2000; LIU et al., 2014). Também pode atrapalhar sistemas de proteção, como disjuntores de alta tensão que, mesmo abertos, estariam conduzindo esta corrente e propiciando a formação de um arco. Nestes casos, preencher o gap do disjuntor com gases eletronegativos pode evitar a ocorrência de descargas coronas (MERRILL; HIPPELL, 1939).

Os inconvenientes domésticos do efeito corona são interferência em aparelhos de televisão analógicos, rádios e aparelhos de recepção sem fio, podendo também gerar ruídos audíveis incômodos, se muito intensas (ABDEL-SALAM et al., 2000). As avalanches positivas são as mais relevantes na geração deste ruído, por serem mais intensas (ABDEL-SALAM et al., 2000). Segundo Liu et al. (2014, p. 082108-1, tradução nossa): “Corrente corona positiva é fonte predominante de radiointerferência para linhas de transmissão em alta tensão CC bipolar, já que a amplitude dos pulsos coronas positivos são várias ordens de magnitudes maiores que os pulsos coronas negativos”.

Na geração, a descarga corona limita a máxima tensão a ser gerada. Um gerador de Van de Graaff⁷¹, por exemplo, pode ter perdas por efeito corona em imperfeições, junções ou rugosidades de seu terminal de descarga, comprometendo o acúmulo de cargas e limitando a máxima tensão fornecida. A Figura 34 apresenta valores de correntes coronas e o aspecto visual produzido para três patamares de tensão positiva aplicada no eletrodo pontiagudo.

⁷⁰ Ver nota 18.

⁷¹ Gerador CC que utiliza o efeito triboelétrico para acumular cargas em um terminal de descarga, podendo gerar tensões da ordem de MV. Foi muito usado nos primeiros aceleradores de partículas (início do século XX).

Por outro lado, o efeito corona também pode ser desejável, sendo aplicado para geração de ozônio (inclusive com finalidade bactericida), tratamento de superfícies (BESSIÈRES; PAILLOL; SOULEM, 2004), precipitação eletrostática (STAACK et al., 2005), etc. Em linhas de transmissão, a descarga corona pode atenuar a corrente que percorreria a linha em situações de sobretensão (ABDEL-SALAM et al., 2000), pois a perda neste estágio é altamente não linear, conforme mostra a Figura 35, sendo dissipada no acoplamento capacitivo entre a linha e o ar.

Considerar esse processo nas avalanches de Townsend modifica substancialmente a forma geral do gráfico de corrente vs tensão da Figura 24 para o modelo apresentado na Figura 35, onde nota-se a característica de “resistência negativa aparente” de um arco elétrico e na transição para descargas luminosas (região “brilho”).

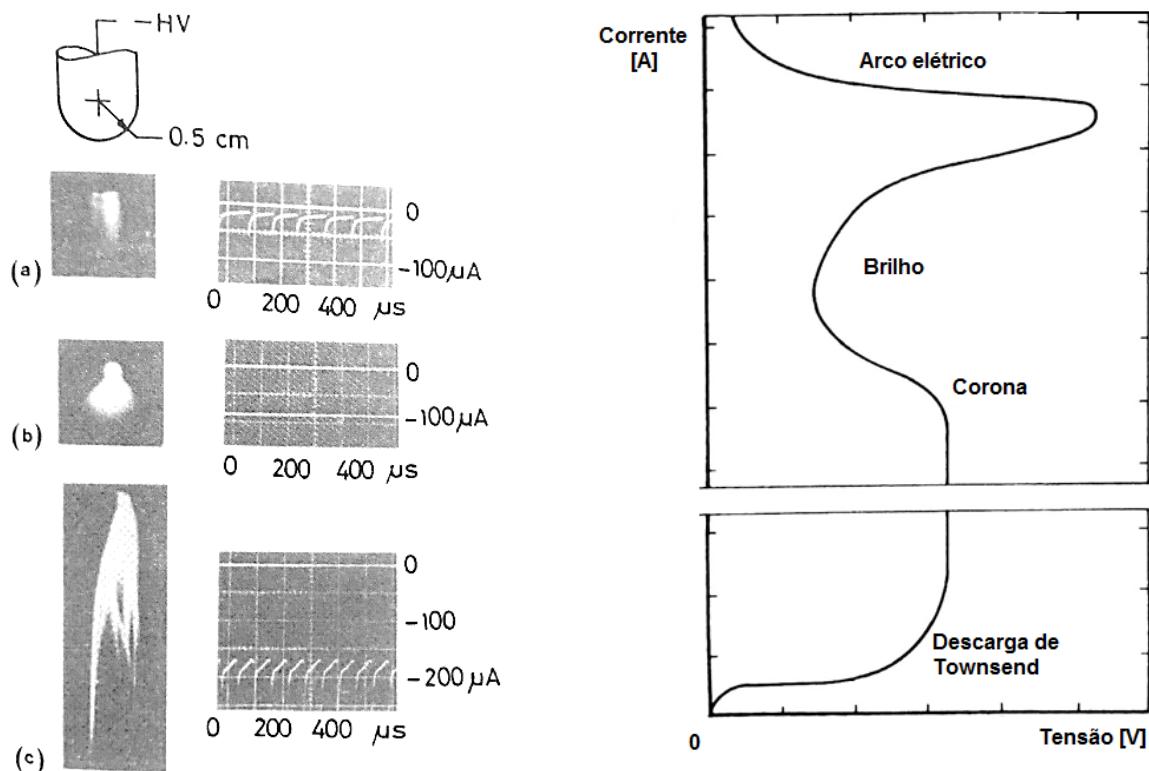


Figura 34 Comparação da intensidade do brilho, corrente e tamanho da descarga corona para valores crescentes de tensão. Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 155).

Figura 35 Curva típica de corrente vs tensão de descargas em gás. O eixo vertical é logarítmico. Tanto a descarga corona quanto a ruptura (arco elétrico) apresentam característica de “resistência negativa” devido ao aumento de íons e elétrons livres decorrentes desses processos. Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p.193, adaptado).

3.4.2 Características gerais de uma descarga corona

Nicola Tesla, em seus experimentos com transformadores elevadores ressonantes com núcleo de ar (bobina de Tesla), observou um halo violeta formar-se em volta de objetos

submetidos a altas tensões e frequências (TESLA UNIVERSE, 2016). Nomeou-o de halo corona (coroa) pela semelhança com a coroa solar⁷² que envolve a circunferência visível do Sol (otosfera solar).

Uma descarga corona fraca é chamada *dark corona discharge* – descarga corona escura (LEE; FUNG; MARKUS, 1996), pois a densidade de fôtons no espectro óptico é baixa⁷³, geralmente porque há poucas colisões eletrônicas e/ou estas são de baixa energia (resultando em fôtons com energia abaixo do espectro óptico). Descargas mais fortes emitem maior quantidade de fôtons e com energia média maior, podendo estar na região óptica do espectro eletromagnético.

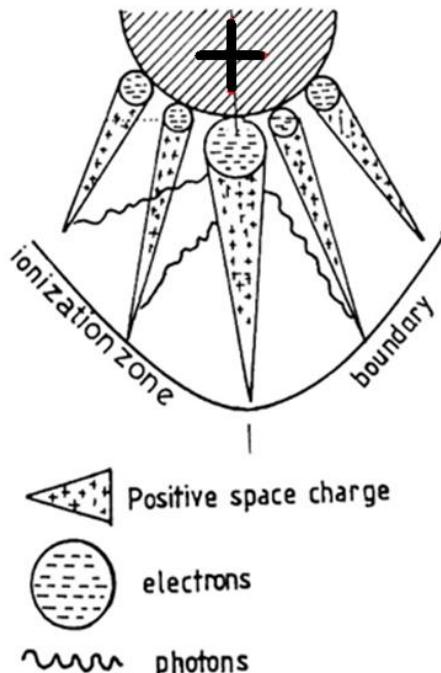


Figura 36 Representação das avalanches secundárias desencadeadas pelos fotoelétrons gerados na avalanche primária. A fronteira de ionização delimita a região média em que o gradiente do campo elétrico é suficiente para sustentar o processo.
Fonte: Abdel-Salam et al. (2000, p. 159, editado).

São nos locais de alta curvatura de um terminal submetido à alta tensão que se observa descargas coronas mais intensas (ver Figura 36 e Figura 37) (LIU et al., 2004). Um experimento (conforme Figura 38) foi feito por Liu et al. (2004) aplicando-se alta tensão ($U \geq 50\text{kV}$) em um fio metálico circundado por uma gaiola metálica ($r' = 30\text{cm}$) aterrada e resultou em uma descarga corona muito intensa, apenas na protuberância esférica acoplada ao fio ($r \approx 1\text{mm}$).

⁷² A coroa solar só pode ser notada durante eclipses solares, por sua baixa luminosidade em relação à fotosfera, ou com sensores apropriados, que não saturam com o brilho central.

⁷³ Uma descarga corona intensa em um meio que não apresenta sem linhas espectrais proeminentes no espectro óptico também não seria vista a olho nu. Uma descarga corona que seja visível, porém não tão intensa pode ser ofuscada pela luminosidade ambiente (ver subseção 4.3.2).

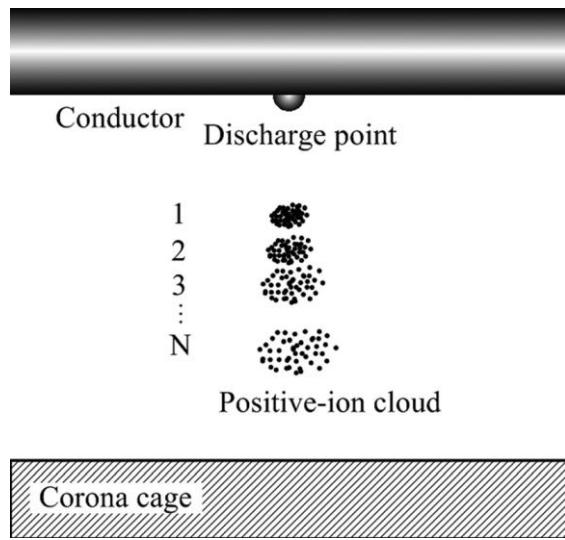


Figura 37 Representação, por Liu et al. (2014), da nuvem positiva quase-estacionária durante uma avalanche eletrônica. Esta nuvem distorce o campo elétrico local, podendo afetar avalanches subsequentes (processo estocástico) enquanto não for neutralizada. Fonte Liu et al. (2014, p. 082108-6).

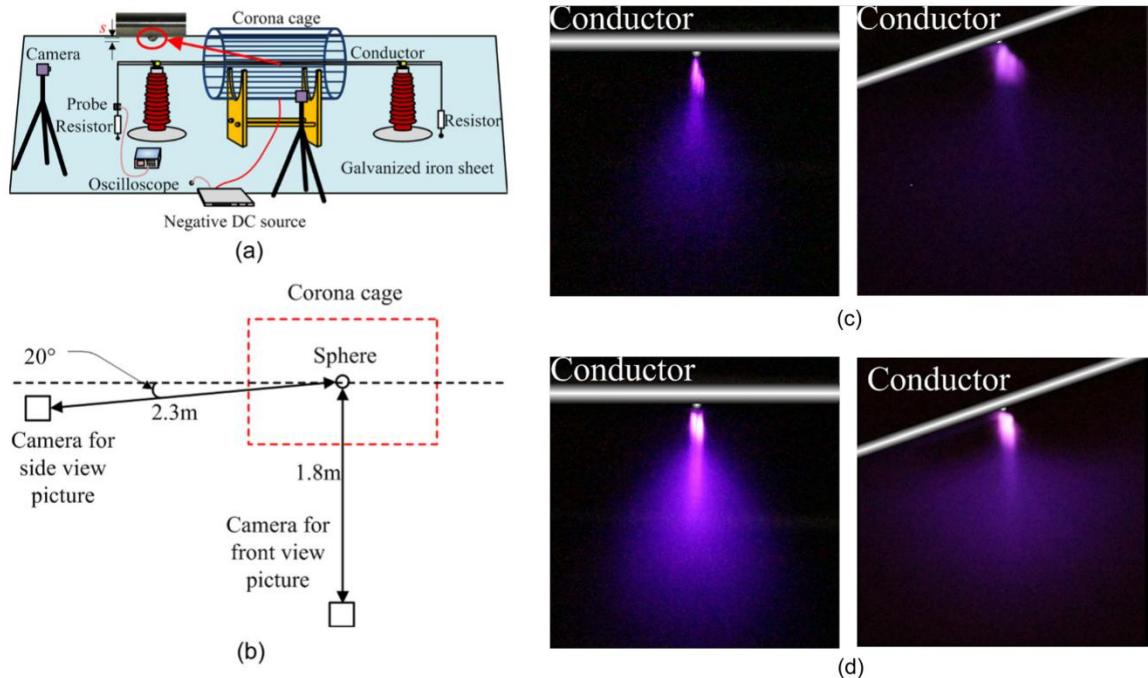


Figura 38 Descarga corona em uma protuberância esférica; vista lateral e frontal. Em (a), o esquema do aparato montado por Liu et al. (2004); em (b) a posição das câmeras; em (c) visões ortogonais de uma descarga corona pulsada para $U=62$ kV (tensão entre a gaiola cilíndrica e o fio central), e $d_1 = 6$ mm (diâmetro do fio central) e $r = 1$ mm (raio da protuberância esférica); em (d) a mesma configuração submetida a uma diferença de potencial de $U=66$ kV, intensificando a descarga corona. Fonte Liu et al. (2014, p. 082108-4, adaptado).

Descargas coronas luminosas são altamente dependentes do gradiente de campo elétrico local, afetado principalmente pela geometria de cada eletrodo e pela distribuição espacial de cargas após avalanches de Townsend. Conforme o estudo de Maglaras e Topalis (2009), a configuração do campo elétrico no dielétrico, mostrado na Figura 39, é sensível à geometria e polaridade de tensão (ou aterrramento) dos eletrodos.

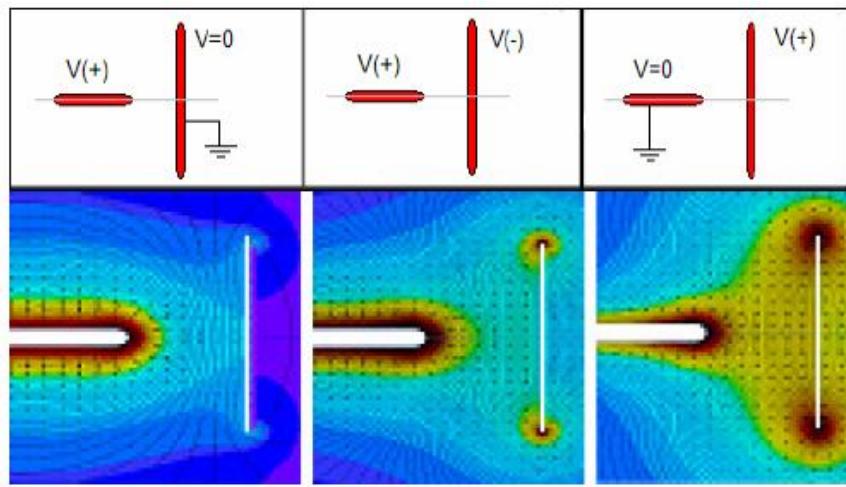


Figura 39 Simulação do gradiente de campo elétrico feita por Maglaras e Topalis (2009), em diferentes configurações de polaridades. Nas regiões mais vermelhas, a descarga corona será mais intensa. Fonte: Maglaras e Topalis (2009, p. 35).

3.4.2 Brilho e coloração de uma descarga corona

Mesmo que uma descarga corona se estabeleça em ambos eletrodos, se na região intermediária do dielétrico o gradiente de campo elétrico não for intenso o suficiente, haverá uma região escura entre eles, conhecida como *Faraday's dark space* – região escura de Faraday, mostrada na Figura 40 (LISOVSKIY, 2012; STAACK et al., 2005). Isto ocorre porque a distribuição espacial de cargas ainda não se superpõem (região que tende a ser mais próxima do eletrodo de menor curvatura).

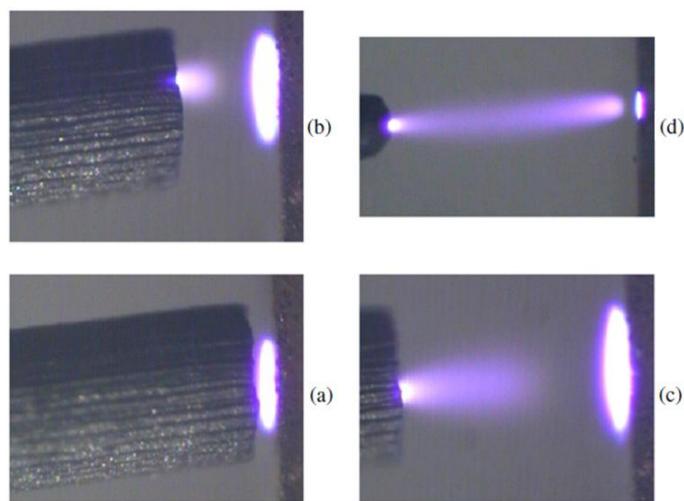


Figura 40 Descarga corona, evidenciando a região escura de Faraday, observada em diferentes espaçamentos: (a) 0.1 mm; (b) 0.5 mm; (c) 1 mm; (d) 3 mm. Fonte: Staack et al. (2005, p. 702).

O brilho observado (densidade de fôtons) é resultado de muitas religações de elétrons livres às moléculas ou íons. As cores (frequência dos fôtons), por outro lado, “aparente nas imagens de descargas são devido à presença de transições eletrônicas dentro do espectro óptico para cada diferente gás usado” (STAACK et al., 2008, p. 4, tradução nossa). Está,

portanto, relacionada qualitativamente ao material que compõe o dielétrico e a distribuição de energia das colisões, para cada configuração de tensão, geometria dos eletrodos, etc. No caso do ar ambiente, o violeta é característico do alto percentual de N₂, mostrado na Figura 41 (STAACK et al., 2005; STAACK et al., 2008).

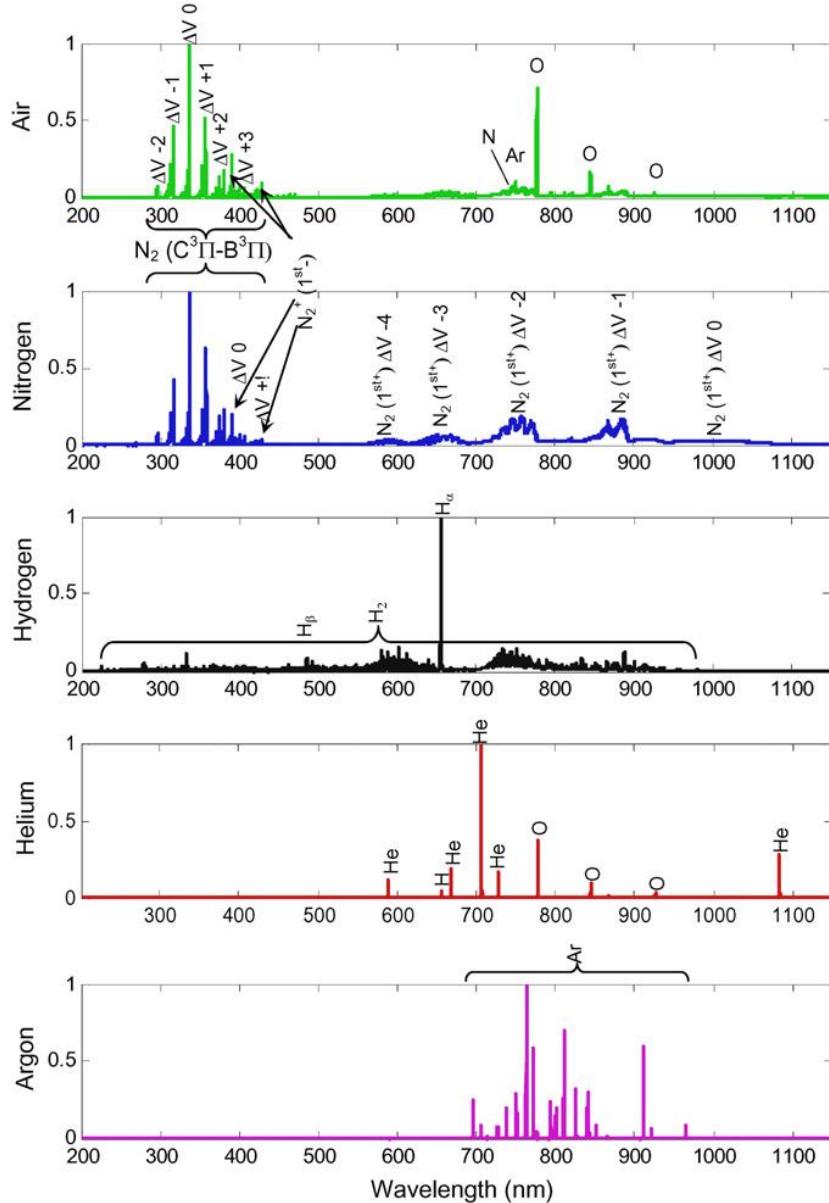


Figura 41 Espectro (normalizado em relação ao pico) emitido por 5 dielétricos (gases) submetidos à alta tensão na configuração ponta-plano (para mais detalhes, consultar a referência). No gráfico, que mostra a intensidade (número de fôtons emitidos) vs comprimento de onda, nota-se que o brilho característico para o ar é violeta., embora haja uma linha intensa próxima de 800 nm, portanto não visível. Fonte: Staack et al. (2008, p. 4).

O embasamento que extrapola o mecanismo de Townsend, incluído nas subseções 3.3.4 e 3.3.5 (ver Figura 27 e Figura 31) torna compreensível outro efeito observado em descargas coronas – a propagação da descarga mostra características de *ondas ionizantes*⁷⁴, conforme Figura 42, Figura 43 e Figura 44, podendo ser estacionárias ou não.

⁷⁴ O termo ficou conhecido como *ionization waves*. Ver Pekarek (1968) e Lisovskiy et al. (2012).

[...] Cada estria consiste em uma região com geração predominante de partículas carregadas devido à ionização (brilhante) e uma região com a predominância de perda de partículas devido ao escape [...] para as paredes do tubo [...], ligação à moléculas eletronegativas do gás e recombinação (escura). Estrias estacionárias são mais fáceis de se observar, e ocorrem em gases moleculares (nitrogênio, ar, hidrogênio). Em gases nobres [...] observa-se estrias movendo-se com grande velocidade; **o olho humano percebe esta coluna positiva estriada como uma coluna uniforme, e estrias podem ser reveladas apenas com câmeras ultrarrápidas** [...] (LISOVSKIY et al., 2012, p. 1539, tradução nossa, grifo nosso).

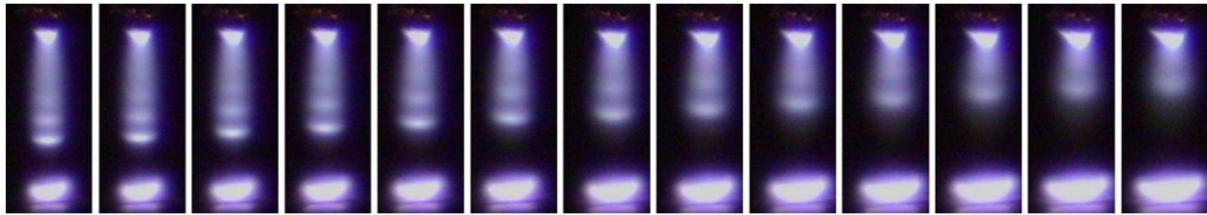


Figura 42 Descarga corona em Hidrogênio. Corrente de descarga de 1.1 mA à esquerda e incrementos de 0.1 mA até 2.3 mA, à direita. Fonte: STAACK et al. (2008, p. 8).

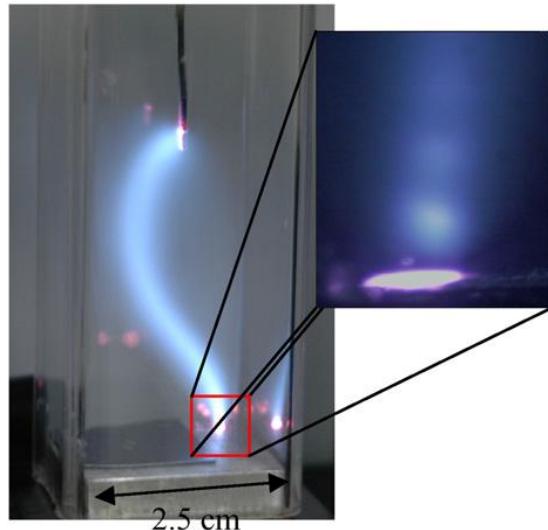


Figura 43 Descarga em Hélio à pressão atmosférica. Realce da região onde termina a coluna positiva, perto do cátodo, em que as estrias são distinguíveis. Fonte: STAACK et al. (2008, p. 7).

De acordo com Pekarek (1968, p. 189, tradução nossa): “estrias estacionárias e propagantes [...] são repetições periódicas de uma perturbação local no plasma na direção do movimento dos elétrons”. A formação desse tipo de descarga deve-se a uma cadeia de processos, que propaga a perturbação eletromagnética pelas densidades eletrônicas, afetando outros parâmetros do plasma. A cadeia de processos é:

[...] a) a ocorrência de uma distribuição espacial de cargas onde a homogeneidade do plasma é localmente alterada (e.g., por um excesso de íons e elétrons); a carga é resultante da polarização dos íons positivos e elétrons, que tem velocidades de difusão livre e mobilidades diferentes; b) uma mudança na energia média eletrônica devido à violação do balanço de energia pela mudança local do campo elétrico pela distribuição de cargas; c) uma mudança na taxa de ionização junto com uma mudança na energia eletrônica média; d) uma gradual mudança (redução) da densidade de íons junto com uma mudança na taxa de ionização. (PEKAREK, 1968, p. 205, tradução nossa).

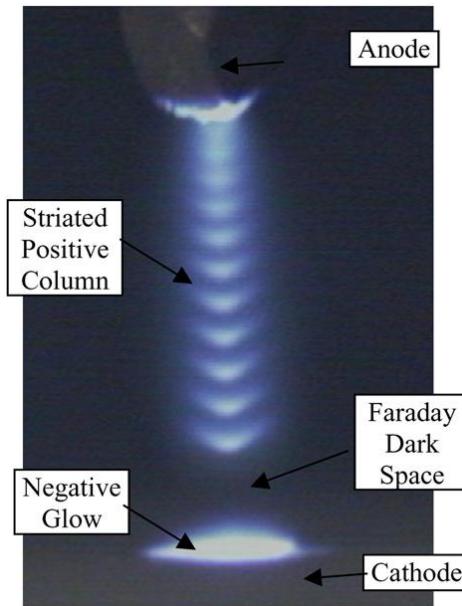


Figura 44 Descarga corona em Hidrogênio à pressão atmosférica. As regiões bem distinguíveis estão indicadas na imagem.
Fonte: STAACK et al. (2005, p. 708).

Com o aumento do gradiente de campo elétrico entre os eletrodos, a *região escura de Faraday* tende a diminuir até conectar as descargas parciais, caracterizando uma forte ionização em todo o gás. Na Figura 45 há uma sequência de imagens dos terminais de teste para produção de faíscas e estimativa da tensão gerada pelo equipamento bioeletrográfico construído neste trabalho (detalhado no **Capítulo 4**), mostrando a junção entre as descargas coronas até o estabelecimento de uma faísca:

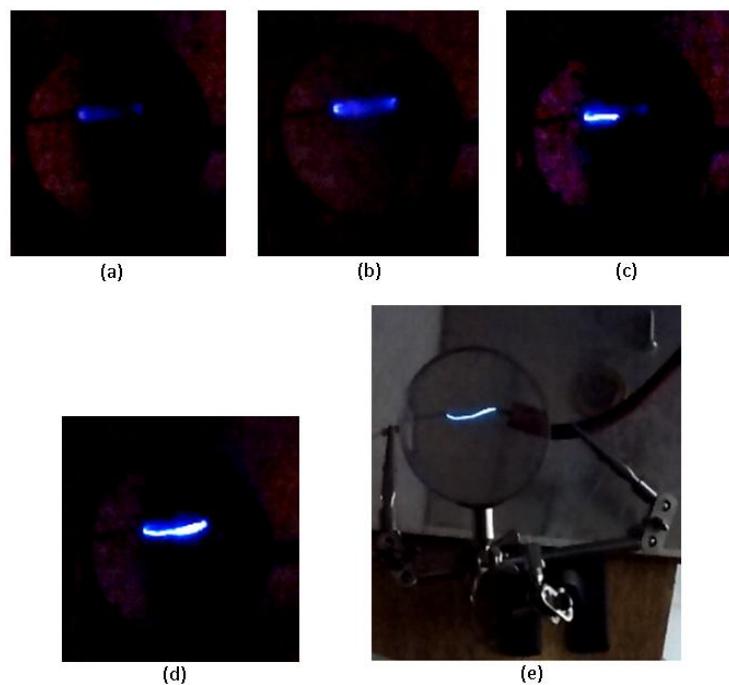


Figura 45 Sequência de descargas ponta ponta (aproximadamente 10 kV entre 1,3 cm) observadas no equipamento construído (o violeta foi distorcido para azul pela câmera utilizada). As imagens (a), (b), (c) e (d) tiverem seu brilho e contraste manipulados para melhor visualização. Em (a) nota-se a região escura de Faraday; em (b) a região ionizada se une; em (c) desencadeia a ruptura da esquerda para a direita; em (d) a ruptura é completa, porém não sustentada, sendo uma faísca esporádica como constadada na operação; em (e) está o terminal de descarga para este teste.

4 PROCEDIMENTOS, MONTAGENS E RESULTADOS

Optou-se denominar assim este capítulo, diferentemente da divisão usual de MATERIAIS E MÉTODOS e RESULTADOS como capítulos distintos, devido à profunda conexão entre eles, com os resultados de uma etapa gerando outros procedimentos, como será visto abaixo.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção e análise do equipamento bioeletrográfico foi dividida em quatro etapas:

- 1) Levantamento dos principais riscos envolvidos na construção, nos testes e na operação da máquina bioeletrográfica, a saber:
 - a. Choque elétrico por contato com partes energizadas de baixa tensão, reduzido usando-se calçados isolantes para operar o equipamento;
 - b. Choque elétrico por contato ou aproximação com partes energizadas de alta tensão, reduzido gerando-se tensão em altas frequências (*skin effect*⁷⁵) diminuindo riscos a órgãos internos, caso não haja ferimentos epidérmicos abertos;
 - c. Interferência eletromagnética da alta tensão nos equipamentos do laboratório, celulares, computadores ou outros circuitos eletrônicos, reduzido distanciando-se a fonte de alta tensão dos outros equipamentos em pelo menos 1cm por kV gerado;

⁷⁵ Efeito pelicular – correntes alternadas tendem a percorrer um condutor pelas bordas, devido ao aumento aparente na resistência interior, tanto maior quanto maior a frequência de oscilação da corrente. Em outras palavras, uma onda eletromagnética tende a propagar-se pelas bordas de um bom condutor, atenuando-se em seu interior, com profundidade de penetração (atenuação de $1/e$) aproximada por: $\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$, sendo f a frequência da onda, μ a permeabilidade magnética do condutor e σ a condutividade deste (HAYT; BUCK, 2003).

- d. Lesões temporárias (ofuscamento) ou permanentes (queima) das células fotossensíveis do olho, inclusive pela radiação UV gerada pelo efeito corona, reduzido usando-se óculos protetores ou evitando-se olhar por muito tempo para uma faísca ou arco elétrico;
 - e. Aumento excessivo na concentração de gás ozônio, produzido pela interação da radiação UV emitida na operação da máquina com o oxigênio atmosférico, prevenido operando-se em ambientes amplos ou bem arejados;
 - f. Há também um perigo hipotético de que o intenso campo elétrico possa perturbar o equilíbrio ou a movimentação dos íons e eletrólitos do corpo humano, porém não foi encontrado corroboração para este efeito no nível de tensão utilizado e, como prevenção, estabeleceu-se que a exposição à alta tensão em distâncias menores que 5 cm não deve exceder 5 segundos;
- 2) Geração da alta tensão necessária para o efeito, sendo este o primeiro resultado prático esperado. Uma precaução tomada foi montar um circuito inicial com potência de saída baixa, até compreender-se melhor o funcionamento. O circuito deve ser capaz de gerar a alta tensão em alta frequência reduzindo o desconforto na utilização da máquina (*skin effect*).
- 3) Montar uma boa configuração para o terminal de descarga, de forma que este não atrapalhe o registro do efeito bioeletrográfico. Este é o segundo resultado prático a ser obtido. É preferível um terminal de descarga transparente, porém, devido ao custo e disponibilidade deste tipo de eletrodo, um terminal filamentar pode ser utilizado para aterrar o objeto quando necessário.
- 4) O último resultado prático esperado é a formação da imagem bioeletrográfica e seu registro no formato digital. Nesta etapa, uma câmera fotográfica simples é anexada ao aparato, direcionada para o terminal de descarga. É desejável que a câmera tenha uma boa resolução e sensibilidade ISO, ou o tempo de abertura regulável.

4.2 PRODUZINDO ALTA TENSÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

Dos vários métodos para produzir alta tensão⁷⁶, optou-se por utilizar uma bobina de ignição automotiva (ver Figura 46), que gera faíscas na vela para queima coordenada do combustível. A bobina de ignição foi escolhida por ser compacta, elétrica e termicamente bem isolada, relativamente barata, de fácil aquisição, com terminais elétricos bem montados, capaz de gerar pulsos de até 45 kV, dependendo do modelo (BERU, 2016; BOSCH, 2016) e termicamente limitante quanto à potência de operação⁷⁷, tornando-a mais segura desde os testes iniciais.



Figura 46 Diferentes modelos de bobinas de ignição automotiva (fonte: http://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ii07_ignition_coils_pt_2013.pdf, acessado em 17/08/2016).

4.2.1 Detalhes de uma bobina de ignição automotiva

Uma bobina de ignição é um autotransformador, ou seja, dois indutores envolvendo um mesmo fluxo magnético com um terminal elétrico em comum. Na Figura 47 tem-se a representação de dois fabricantes diferentes, retratando as partes construtivas de uma bobina de ignição. Uma bobina semelhante a essas (com isolação de resina asfáltica) foi utilizada nos testes 01 e 02, descritos nas subseções **4.3.1** e **4.3.2**.

⁷⁶ Transformador elevador, circuito multiplicador de tensão, bobina tesla, Flyback, circuitos de indutor acoplado, etc.

⁷⁷ Teoricamente, quanto maior a corrente no primário da bobina, maior a tensão gerada no secundário. Porém, submetendo as bobinas automotivas a altas correntes, rapidamente ocorrerá falha na isolação interna, curto circuitando várias voltas, reduzindo o ganho de tensão do secundário. Outra limitação está relacionada ao núcleo de ferro, que atenua componentes em altas frequências (que geraria os maiores ganhos de tensão), aquecendo-se. Ambas limitações servem aqui com um propósito útil, atendendo o item 2), das precauções iniciais citadas acima.

O modo de operação é semelhante a um transformador elevador. A tensão a ser elevada (pela relação de espiras) será a força contra eletromotriz que aparece no lado de baixa tensão quando há uma variação na corrente que o atravessa. Para este projeto, uma entrada CA senoidal em 60 Hz tornaria caro e pesado um transformador elevador comum e perigoso a operação do equipamento, pela possibilidade de falhas na aplicação da alta tensão em objetos vivos.

Para formar um halo corona, basta que haja picos espaçados de alta tensão. Portanto conecta-se o enrolamento do lado de baixa tensão (BT), doravante chamado indutor primário, a uma bateria ou fonte CC e a um circuito de chaveamento conforme Figura 48. Desta forma a potência é muito mais baixa, e a frequência muito mais alta, tornando o equipamento mais seguro.

A força contraeletromotriz que surge é uma reação à variação do fluxo magnético que atravessa o indutor primário (lei de Lenz), sendo periódica devido ao chaveamento da corrente no indutor primário.

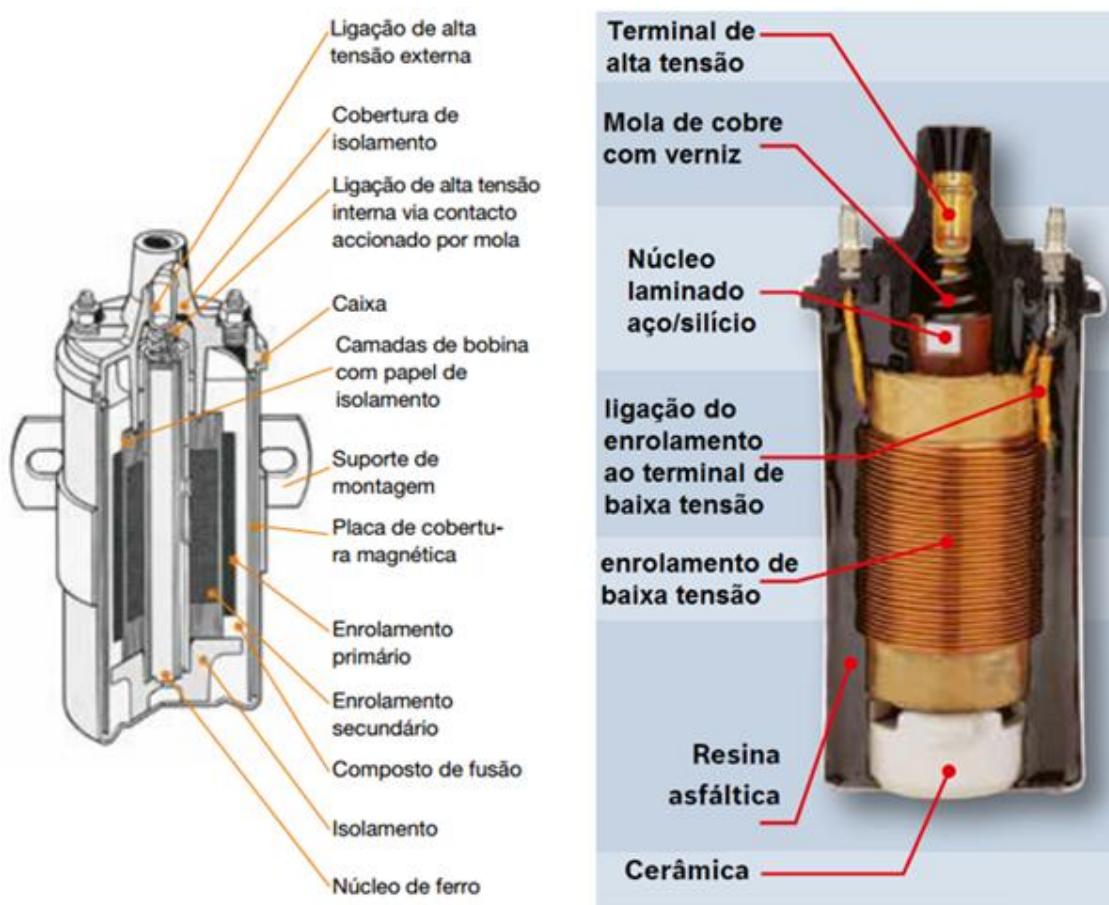


Figura 47 à esquerda, interior de uma bobina de ignição (fonte: http://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ti07_ignition_coils_pt_2013.pdf, acessado em 17/08/2016); à direita, visão realista do interior de uma bobina de ignição BOSCH (adaptado de: http://br.bosch-automotive.com/media/partss/download_2/ignicao/5363_BR_Catalogo_Bobinas_2016_v7.pdf, acessado em 17/08/2016).

Este mesmo fluxo atravessa o enrolamento do lado de alta tensão (AT), doravante chamado indutor secundário, portanto induz-lhe uma tensão, que é função da relação de espiras. Essas tensões são pulsos de alta frequência e rápida atenuação. São função da indutância própria e mútua dos indutores, da variação do fluxo magnético, do coeficiente de acoplamento e das perdas no núcleo ferromagnético.

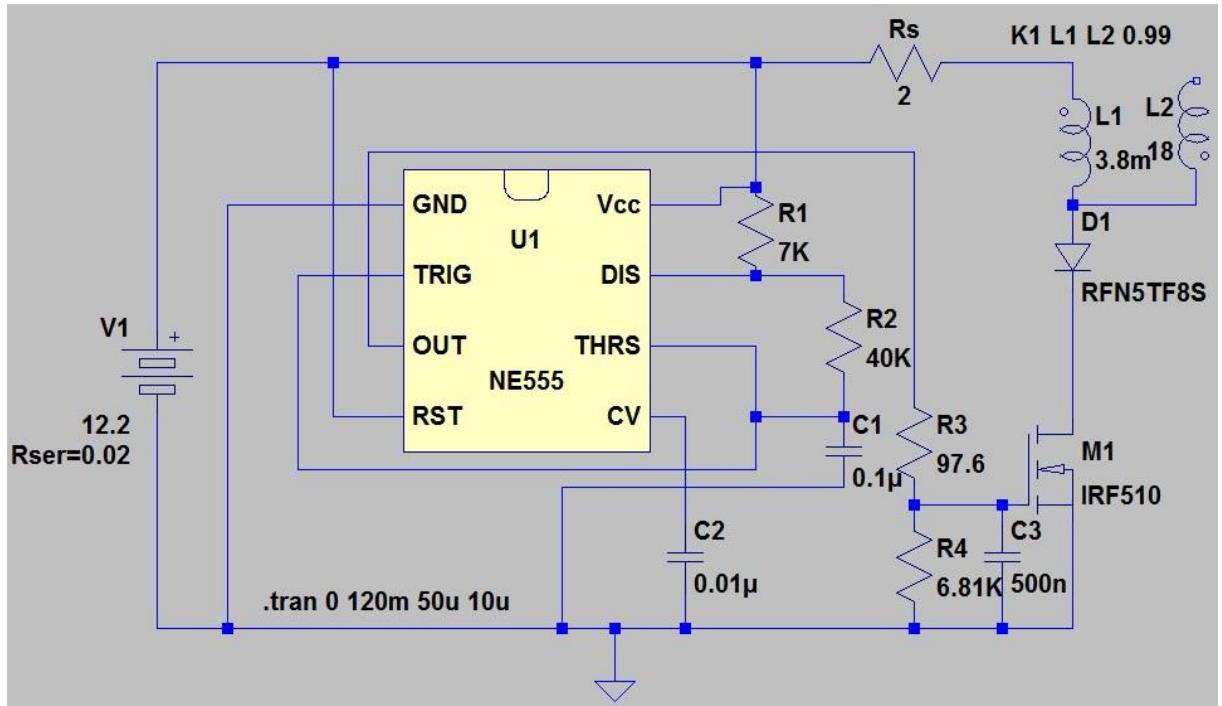


Figura 48 Circuito de chaveamento da bobina de ignição (L1) utilizado na simulação.

4.2.2 Métodos de cálculo e simulação do circuito

Para calcular a tensão gerada pode-se avaliar o fluxo magnético que atravessa o indutor pela lei de Gauss do magnetismo e aplicar a Lei de Faraday (TIPLER; MOSCA, 2008). No **APÊNDICE D** foram desenvolvidos os cálculos⁷⁸. Os resultados importantes são mostrados abaixo, ainda sem descontar as perdas com correntes parasitas e histerese⁷⁹:

$$E_{L1} = E_{BT} = -\mu_0 n_{BT}^2 l_{BT} ((\mu_{Fe} - 1) A_{AT} + A_{BT}) \frac{di_{BT}}{dt} \quad (4.3.1)$$

$$E_{L2} = E_{AT} = -\mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} n_{AT} l_{AT} A_{AT} \frac{di_{BT}}{dt} \quad (4.3.2)$$

⁷⁸ As equações (4.3.1) e (4.3.2) desconsideram os efeitos secundários da indutância mútua (a reação contra eletromotriz quando há corrente no secundário) e de perdas no núcleo (por histerese e correntes parasitas). Esta última é considerada na simulação do ganho real, pela reconstrução em frequência do sinal, no **APÊNDICE G**.

⁷⁹ Sendo que a aproximação final em (4.3.3) não tem validade geral, já que μ_{Fe} varia com a corrente, resultando em $\frac{A_{AT}}{A_{BT}} * \frac{N_{AT}}{N_{BT}} < \frac{E_{L2}}{E_{L1}} < \frac{N_{AT}}{N_{BT}}$. Neste caso, cada harmônica da corrente associa-se a um valor de μ_{Fe} , e $\frac{(A_{BT} - A_{AT}) / A_{AT}}{\mu_{Fe}}$ nem sempre poderá ser desprezado. Este efeito é englobado na aproximação das perdas no núcleo.

$$\frac{E_{L2}}{E_{L1}} = \frac{\frac{d\lambda_{AT}}{dt}}{\frac{d\lambda_{BT}}{dt}} = \frac{\mu_{Fe} n_{AT} l_{AT} A_{AT}}{n_{BT} l_{BT} ((\mu_{Fe}-1) A_{AT} + A_{BT})} = \frac{n_{AT} l_{AT}}{n_{BT} l_{BT}} * \frac{A_{AT}}{A_{AT} + \frac{A_{BT} - A_{AT}}{\mu_{Fe}}} \cong \frac{N_{AT}}{N_{BT}} \quad (4.3.3)$$

em que:

- E é a tensão ou força eletromotriz induzida;
- λ_{BT} é o fluxo magnético concatenado pelo indutor de baixa tensão;
- o sub-índice $_{BT}$ e $_{AT}$ referem-se, respectivamente ao lado de BAIXA e ALTA TENSÃO, ou PRIMÁRIO e SECUNDÁRIO;
- μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo;
- μ_{Fe} a permeabilidade relativa do núcleo de ferro;
- n_{BT} é a densidade de espiras do enrolamento de baixa tensão, (número de espiras por unidade de comprimento);
- l o comprimento do indutor.
- N é o número de espiras do indutor;
- A é a secção transversal do indutor (πr^2 , com r sendo o raio médio das espiras);
- i_{BT} a corrente no indutor primário.

Para o chaveamento da bobina de ignição foi projetado, simulado e montado o circuito oscilador mostrado na Figura 48. Utilizou-se o programa LTSPICE IV e as formas de onda resultantes são mostradas na Figura 49 e Figura 50 a seguir, considerando características aproximadas dos componentes a serem utilizados.

Os tempos condução (T_{ON}) e corte (T_{OFF}) do transístor podem ser modificados (embora não independentemente) seguindo as equações abaixo:

$$T_{ON} = 0.693(R1 + R2)C1 \quad (4.3.4)$$

$$T_{OFF} = 0.693(R2)C1 \quad (4.3.5)$$

Portanto a frequência e o duty cycle serão:

$$f = \frac{1.443}{(R1+2R2)C1} \quad (4.3.6)$$

$$duty = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = \frac{R1+R2}{R1+2R2} \rightarrow \in]0,5; 1[\quad (4.3.7)$$

O intervalo de condução (T_{ON}), engloba o tempo de carregamento do indutor, em que a corrente no indutor primário cresce e, consequentemente, o fluxo magnético no interior da bobina cresce (podendo atingir um valor máximo se o intervalo for maior que o tempo de carregamento do indutor). Quando há o corte na tensão, a corrente (e o fluxo magnético) vai a zero rapidamente e, nesse curto intervalo, ocorre o pico de tensão (em ambos os indutores, observável na Figura 49 e Figura 50), opondo-se à variação brusca do fluxo magnético.

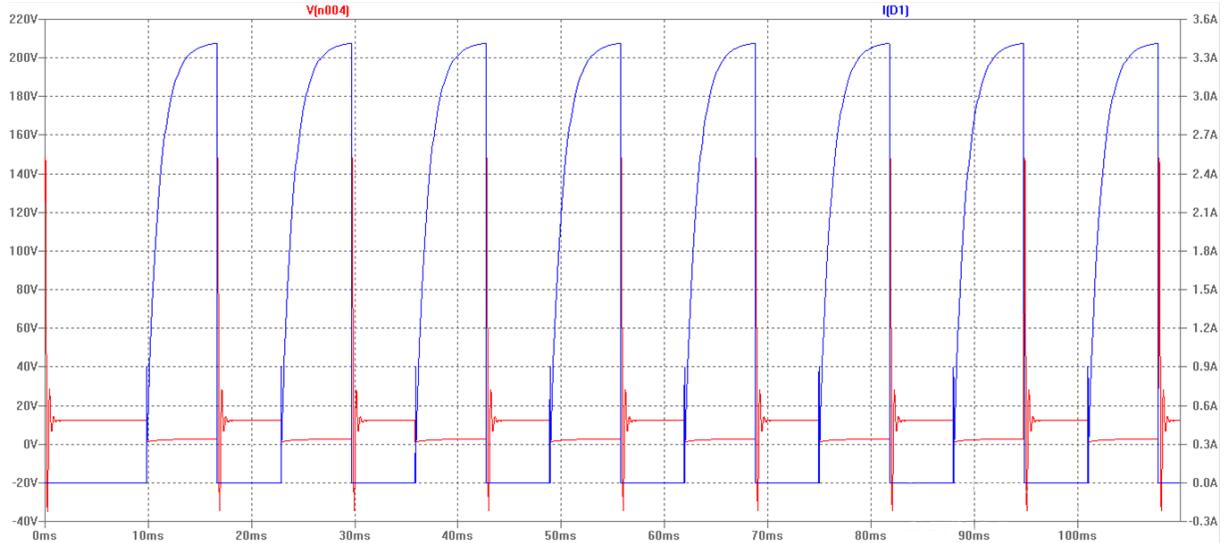


Figura 49 Formas de onda da tensão (vermelho) e da corrente (azul) no primário da bobina. Frequência de chaveamento próxima de 77Hz. Com as características da bobina de ignição utilizada, há um pico de 150 V e 3,4 A no primário.

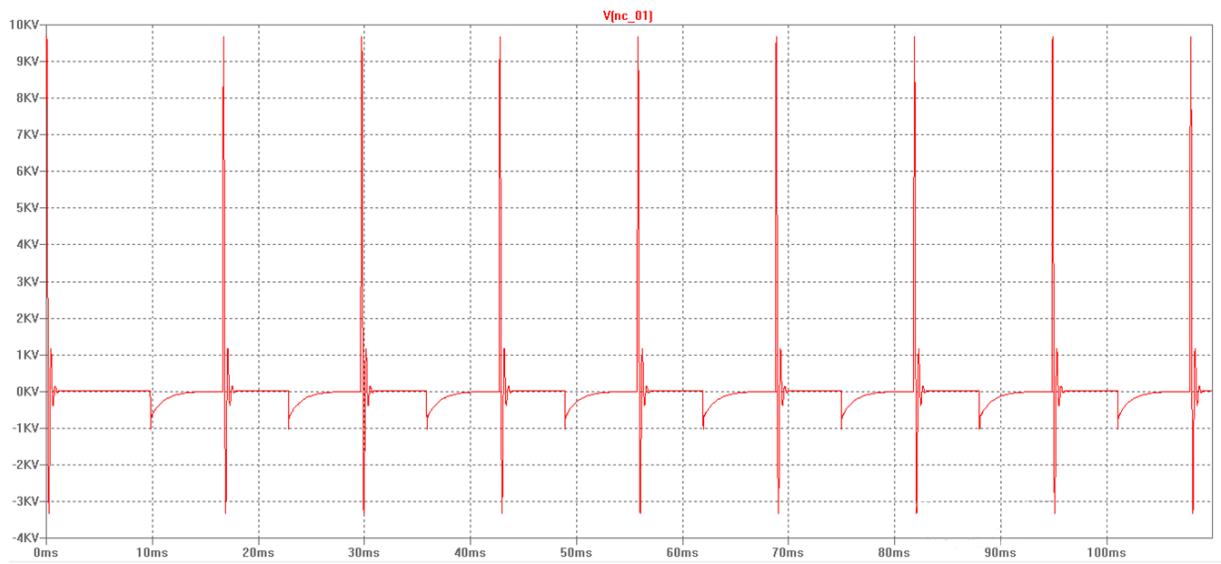


Figura 50 Formas de onda da tensão no secundário da bobina. Frequência de chaveamento próxima de 77Hz. Pico de tensão em torno de 9,5kV no secundário. A corrente não é mostrada, pois a simulação foi feita sem carga (em aberto).

4.3 CIRCUITOS, TESTES E OTIMIZAÇÕES

Os circuitos a seguir foram montados para se obter cortes periódicos na corrente que passa no enrolamento primário da bobina de ignição. O transístores usados (IRF540 ou IRF630), compatíveis com a carga, garantem uma interrupção total em menos de 100 ns. De um teste para outro alguns itens são modificados, como a fonte, a bobina, os elementos de chaveamento (R1, R2 e C1), visando maior tensão ou melhor ponto de operação na produção do efeito corona.

4.3.1 Teste 1

Neste teste a bobina de ignição utilizada foi uma Marflex refrigerada a óleo, semelhante à da Figura 51 abaixo:



Figura 51 Bobina de ignição automotiva refrigerada a óleo, utilizada nas duas primeiras montagens. Fonte: produto.mercadolivre.com.br/MLB-715476294-bobina-de-ignico-marflex-mb928077-versalles-gol-parati-_JM#stayOnWeb, acessado em 14/12/2015.

Utilizou-se uma fonte de alimentação *Minipa*, capaz de fornecer 3 A em 12 V e montou-se o circuito de chaveamento e potência, conforme o esquema apresentados na Figura 48. Com esta montagem, pode-se observar a ruptura dielétrica para espaçamentos de ar de cerca de 1 cm, conforme mostra a Figura 52.

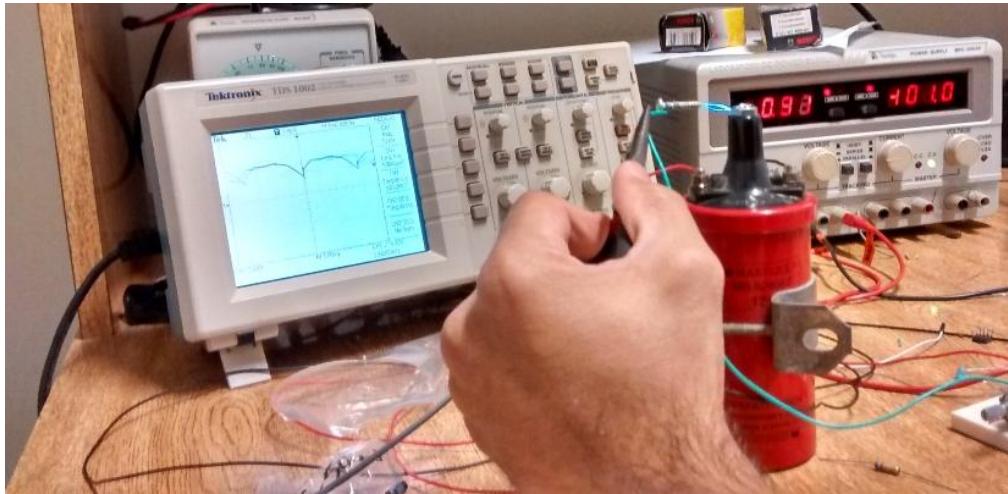


Figura 52 Alta tensão gerada com a montagem do teste 1. Obteve-se faísca de baixa energia (não estabeleceu-se arco para nenhuma distância). A fonte de tensão CC mostrou-se instável no procedimento (não suportava os picos de correntes que o circuito exigia), desregulando também o chaveamento (mostrado no osciloscópio, à esquerda).

A onda retangular em OUT (Figura 48), saída do temporizador, foi obtida usando-se um osciloscópio e serve como sinal de chaveamento para o transístor. Na Figura 53 nota-se ruídos nas bordas do sinal, esperados em uma onda quadrada real. Como são ruídos de alta frequência, só aparecem quando a frequência de amostragem do osciloscópio é suficiente para não mesclá-las aos níveis CC.

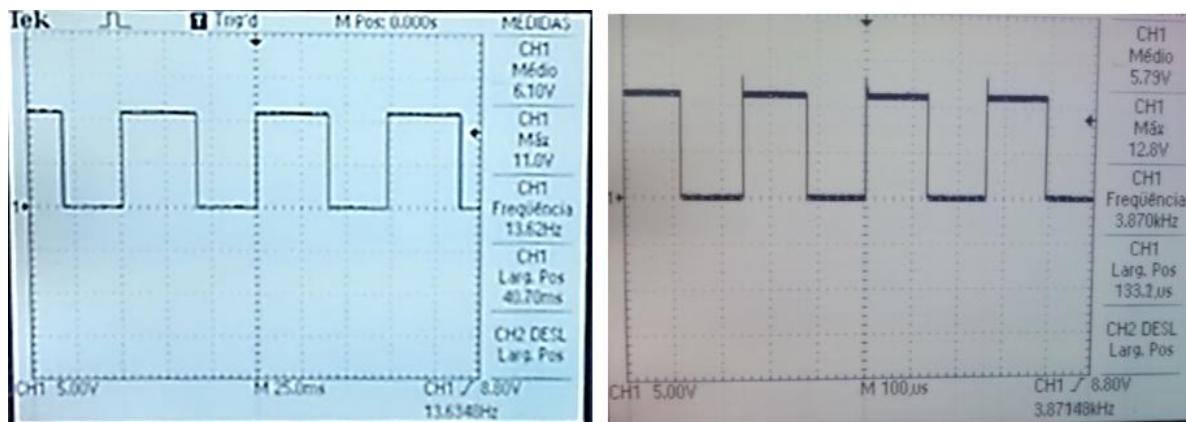


Figura 53 Saída do temporizador LM555N. À esquerda, o circuito foi ajustado para frequência próxima a 13 Hz. À direita, a frequência obtida foi acima de 3,5 kHz e a onda retangular já mostra pequeno ruído nas bordas.

Com essa montagem, percebeu-se que a fonte não era capaz de operar confiavelmente alimentando o circuito de controle e de potência, pois a rápida variação na corrente poderia desestabilizar os níveis de tensão relacionados ao timer LM555N, além de o circuito da bobina exigir picos de corrente acima dos 3 A. Mesmo assim, o circuito pôde produzir faíscas razoáveis. A estimativa, pela distância ponta a ponta de ruptura dielétrica do ar, foi de cerca de 5-8 kV.

4.3.2 Teste 2

Mantendo o circuito de controle (chaveamento) como estava e a alimentação elétrica pela fonte Minipa (12 V), mudou-se o fornecimento de corrente da bobina de ignição para uma bateria, separando-se a alimentação de controle da de potência.

Uma bateria recarregável de 40 V e 8 Ah foi utilizada. O circuito de chaveamento agora está estável e fez-se uma associação com resistores de potência disponíveis para fornecer cerca de 2,2 A à bobina de ignição.

Neste segundo teste, montou-se um terminal de descarga para visualizar o halo corona no objeto. Uma placa de alumínio aterrada foi isolada do objeto (moeda) por uma peça de acrílico de 0,4 cm de espessura. Conectou-se a saída de alta tensão diretamente no objeto. Todo o aparato está em cima de uma placa branca de madeira, conforme Figura 54.

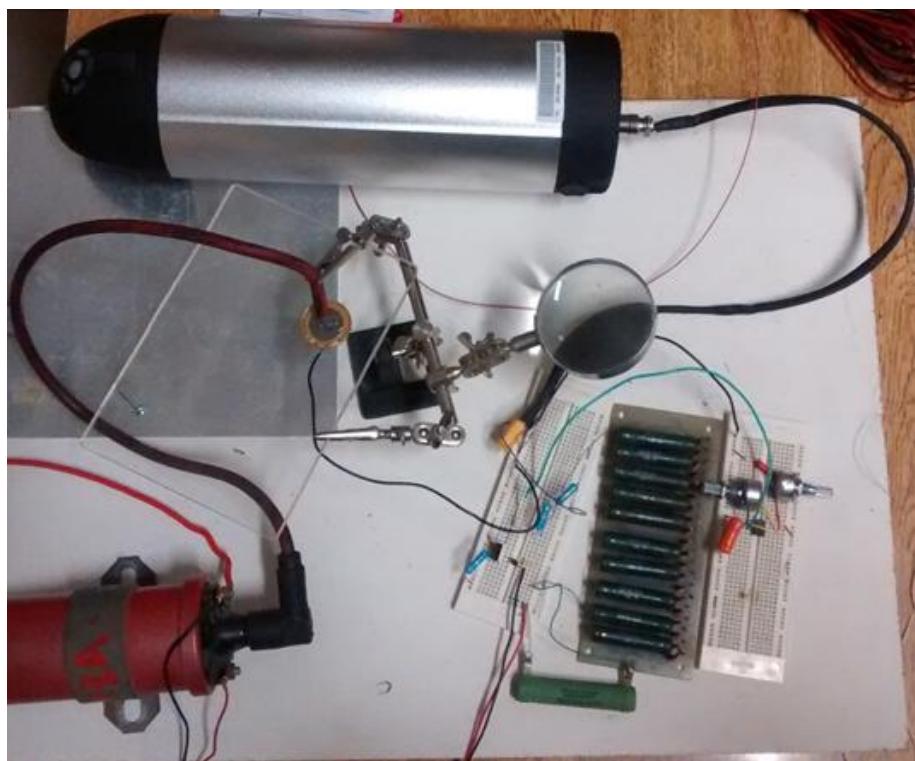


Figura 54 Circuito montado para a visualização da descarga corona em uma moeda de R\$1,00.

O pico de tensão do indutor (semelhante à simulação apresentada na Figura 49) ocorre quando a corrente na bobina (e no transístor) vai do valor máximo a zero. Esta situação apresenta-se na borda de subida da tensão do transístor, em que este vai do modo de saturação para o corte ($V_{open} = 40$ V). A Figura 55 exemplifica esta condição, mostrando um pico de 145 V, e comparando-a com a Figura 56, nota-se a influência da frequência de amostragem do osciloscópio na aquisição desses picos.

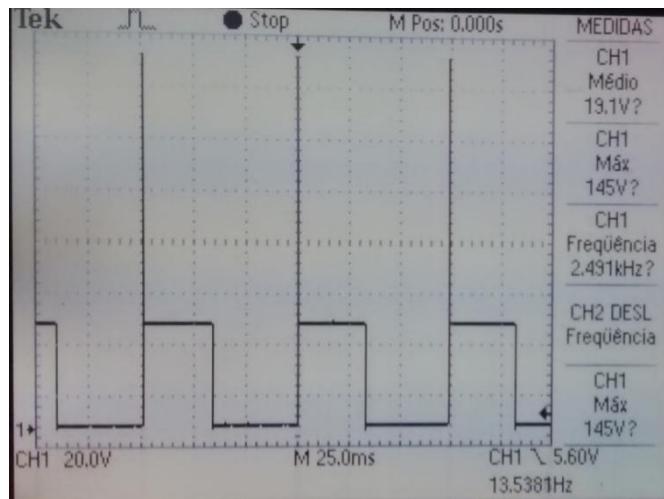


Figura 55 Forma de onda da tensão no transístor. A resolução temporal é de 0,025 s. A frequência lida na lateral direita é um valor incorreto, pois mescla a alta frequência do pico de tensão com a frequência de chaveamento. Esta aparece corretamente no canto inferior direito como 13,5 Hz.

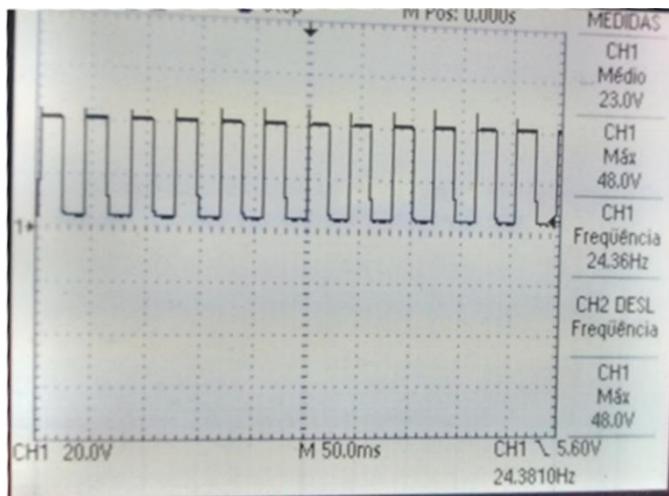


Figura 56 Forma de onda da tensão no transístor. A resolução temporal foi ajustada para 0,050 s, e o pico de tensão já não aparece, por ser de frequência muito alta.



Figura 57 Faísca obtida com aproximadamente 0,8 cm. Para estimar a tensão, a configuração foi tida como ponta-ponta (devido a pequena espessura da moeda), e o valor obtido foi 8 kV (a ruptura para esta configuração ocorre com 10 kV/cm).

Tendo-se conseguido a geração de alta tensão (ver Figura 57), observou-se as variações de faiscamento com a frequência de chaveamento do circuito. O intervalo ótimo, de faíscas mais fortes e frequentes, foi obtido com frequências entre 700 e 1100 Hz, na configuração da Figura 54. Utilizou-se também uma lâmpada incandescente para observar o efeito em um “globo de plasma” e verificou-se que o intervalo de frequências encontrado também resulta em uma descarga corona visualmente mais intensa.

Ao diminuir a luminosidade ambiente, o efeito mostra-se mais intensamente (ver Figura 58 e Figura 59).

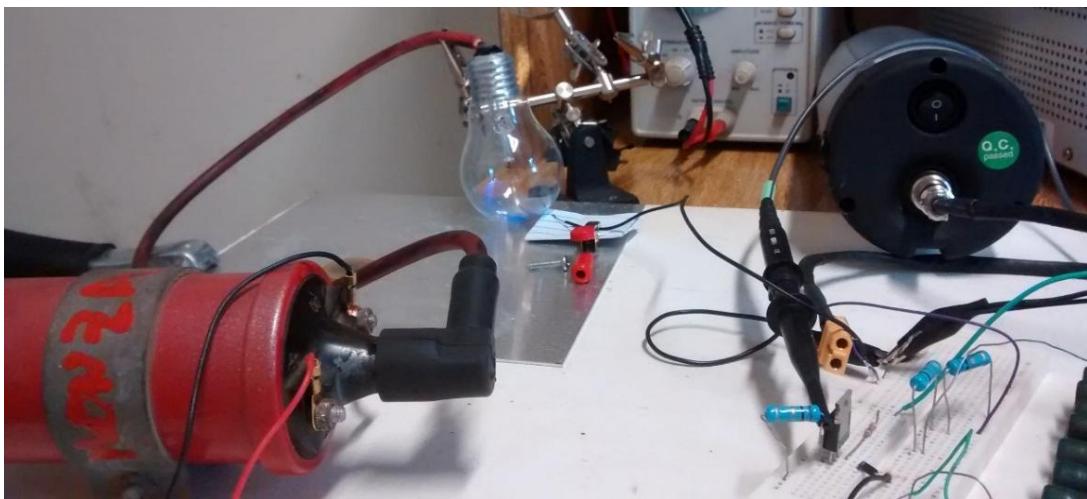


Figura 58 Descarga corona em uma lâmpada incandescente para simular um “globo de plasma”. Como os terminais internos são muito finos, a descarga corona é intensa. A cor da descarga é violeta, porém foi distorcida para azul pela câmera. O filamento de tungstênio da lâmpada está rompido, porém isto não afeta o efeito.



Figura 59 Descarga corona em uma lâmpada incandescente para simular um “globo de plasma”.

Em ambos os casos, a cor predominante é violeta, porém ao fotografar o efeito, a cor é distorcida para o azul pela câmera. Possivelmente a câmera também absorveu parte da emissão em ultravioleta próximo, que superexcitou os pixels cujo filtro tem boa transmitância na região espectral do azul.

Tais experimentos evidenciaram a necessidade de se observar o halo corona em ambientes escuros, pois descargas coronas mais fracas são ofuscadas pela luminosidade ambiente. No escuro, notou-se perdas por efeito corona nos cabos e nos terminais da bobina (do polo central AT para o terminal BT), que foram corrigidas no terceiro teste utilizando-se outra bobina de ignição, com terminais mais distantes e bem isolados e um novo cabo de alta tensão.

Utilizou-se uma moeda e uma folha de uma planta para verificar-se o halo corona em objetos, segundo esta montagem. Os resultados ficaram muito aquém do esperado e mais adaptações e precauções ainda seriam feitas para testar com objetos vivos. As imagens obtidas foram como as da Figura 60:

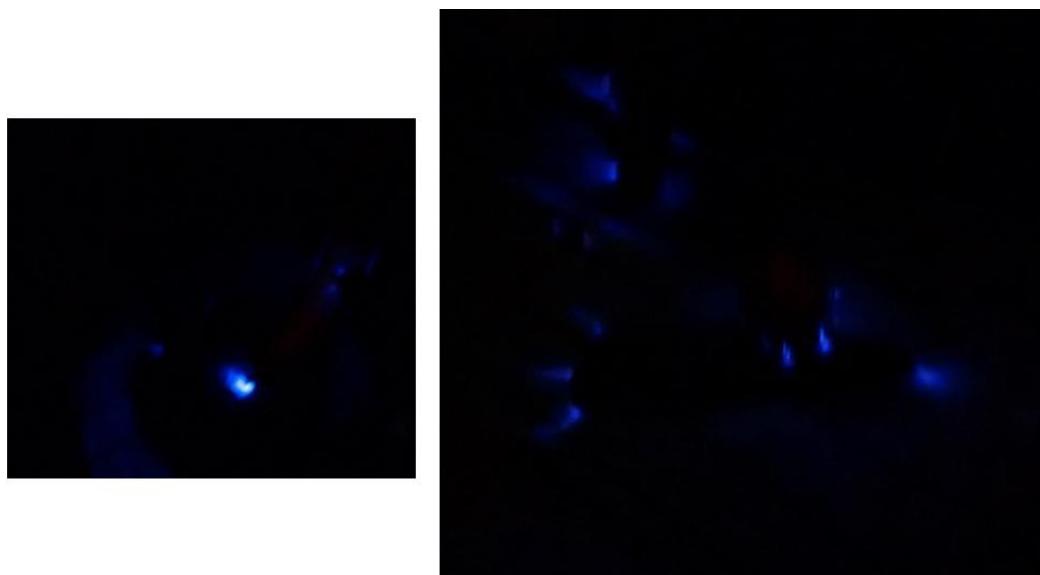


Figura 60 Testando o efeito corona em uma moeda (à esquerda) e em uma folha (à direita).

Ainda não se obteve luminosidade significativa nas superfícies dos objetos. Supôs-se duas explicações: Ou o efeito corona descarregava-se somente pela borda, pois o gradiente de tensão não era suficiente para romper a isolamento na superfície, ou a intensidade luminosa na superfície estava fraca ou ofuscada pela luminosidade na borda (já que a câmera tem um ajuste de luminosidade média). Considerou-se tratar as duas possibilidades: desenvolver uma nova configuração para aumentar a tensão de saída e fazer uma captura com maior tempo de exposição, utilizando processamento de imagem para ressaltar a luminosidade central. Esta última seria aplicada somente após otimizar-se a primeira, porém não foi necessária. Descobriu-se que a descarga superficial dava-se entre o objeto e o dielétrico, quando este intermediava-o com o eletrodo planar. Nesta configuração, como o eletrodo planar é uma chapa opaca de alumínio, não seria possível observar a descarga superficial.

4.3.3 Teste 3

Para melhorar a geração de alta tensão, trocou-se a bobina de ignição por uma de outro modelo, mais compacta, rápida (menor tempo de carregamento do primário) e capaz de gerar tensões mais altas (maior relação de espiras). Nesta bobina os terminais BT e AT são mais distantes, evitando a fuga de corrente entre eles. Na Figura 61 é apresentada a nova bobina e na Figura 62, a nova montagem do circuito de chaveamento.



Figura 61 Bobina de ignição com resina plástica, semelhante à usada no terceito teste (fonte: <http://www.acessoriosbecar.com.br/departamento/22/bobina+de+ignicao>).

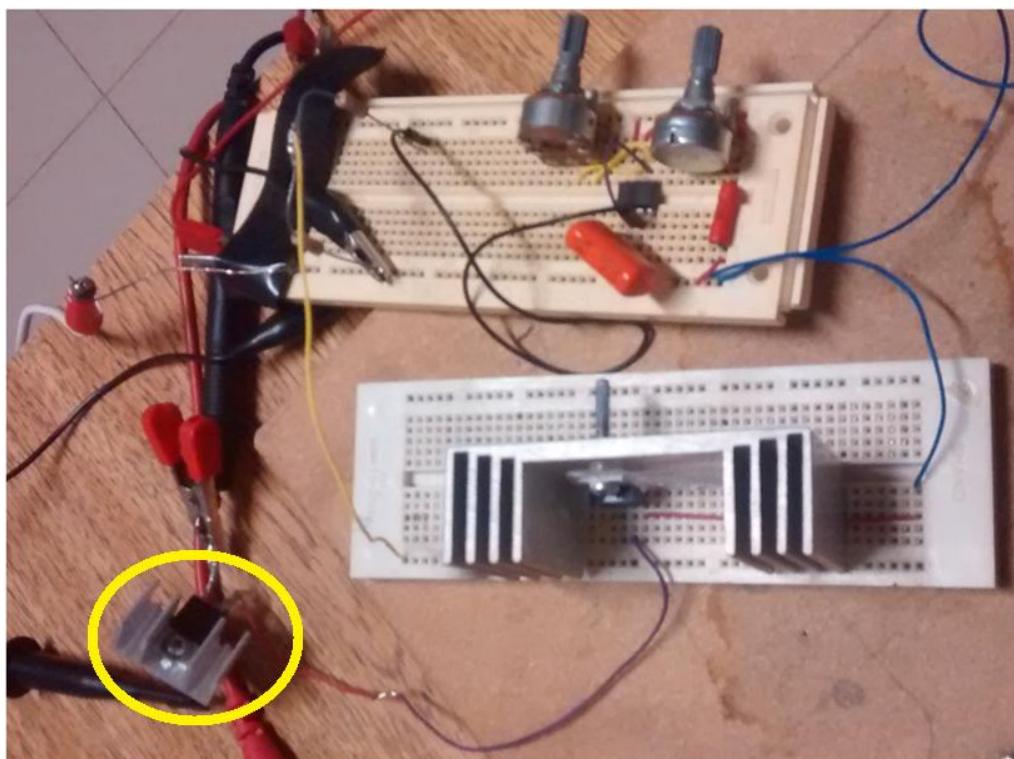


Figura 62 Montagem do circuito de chaveamento para o terceiro teste. R1 e R2 são potenciômetros acima, C1 embaixo e o LM555N no centro - todos na protoboard de cima. O transístor foi montado em um grande dissipador (na protoboard de baixo), para suportar a corrente dos vários arranjos que foram montados para um teste de sacrifício. No canto inferior esquerdo há o diodo retificador de corrente.

A bateria de 40 V foi mantida, porém o divisor de tensão resistivo foi trocado por um potenciômetro construído com resistência de chuveiro (ver Figura 63), capaz de suportar a alta corrente elétrica demandada sem derreter, enrolado em uma cerâmica apropriada⁸⁰. Também foi acrescentada uma ventoinha, direcionada ao divisor de tensão, melhorando o arrefecimento por convecção e a estabilidade da resistência com a temperatura.



Figura 63 Potênciometro (Rsérie) construído com resistência de chuveiro para suportar correntes de pelo menos 8 A, operando com arrefecimento forçado.

Os dados técnicos fornecidos sobre as bobinas geralmente limitam-se às resistências dos enrolamentos e à máxima tensão de operação. Por isto, antes de prosseguir com os testes, foi feito um teste de sacrifício na bobina, variando a frequência de chaveamento e a corrente, para se entender melhor o funcionamento da mesma e seus limites de operação, já que neste ponto em diante, o estresse elétrico e térmico seriam maiores.

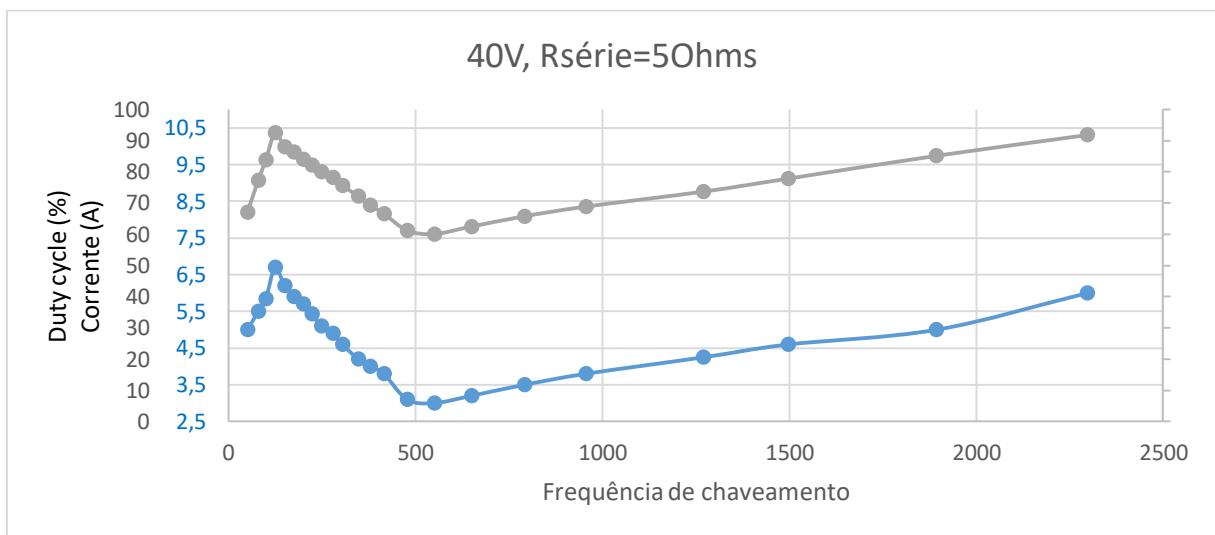


Figura 64 Gráfico de corrente vs frequência de chaveamento (azul) e duty cycle vs frequência de chaveamento (cinza). A corrente eficaz está diretamente relacionada com o duty cycle.

⁸⁰ A marcação da cerâmica deve ser desconsiderada.

Os testes foram conduzidos variando-se a frequência de chaveamento e, em cada ponto, deixando o circuito ligado por 1 minuto. Observou-se a corrente eficaz, a intensidade da faísca gerada em pequenos espaçamentos entre os eletrodos (de 1,5 cm), o ruído gerado na faísca e se a bobina apresentou variação térmica externa. Entre 50 Hz e 2 kHz, foram analisados mais de 20 pontos (ver Figura 64). Em seguida, os testes foram refeitos variando-se o *duty cycle* e diminuindo a resistência série do circuito (aumentando a corrente fornecida). Abaixo é apresentado o gráfico de um dos testes feitos, o de menor resistência série e maior estresse térmico para todo o circuito.

Ressalta-se aqui que a bobina é usada no carro em chaveamentos de poucas centenas de ciclos por segundo (100 – 300 Hz), mas o teste estendeu o chaveamento a uma ordem de grandeza acima. Notou-se, com isso, que uma ressonância acontece entre 800-900 Hz⁸¹, confirmado visualmente pelos testes posteriores como o melhor intervalo para a observação do efeito corona em torno dos objetos.

Para apresentar estes resultados, qualificou-se de 0 a 10 a intensidade do arco formado, observando-lhe o brilho, a cor e a área da secção transversal do arco. Este resultado qualitativo é apresentado na Figura 65 e coincide com a luminosidade apresentada pelo objeto quando um dielétrico é interposto

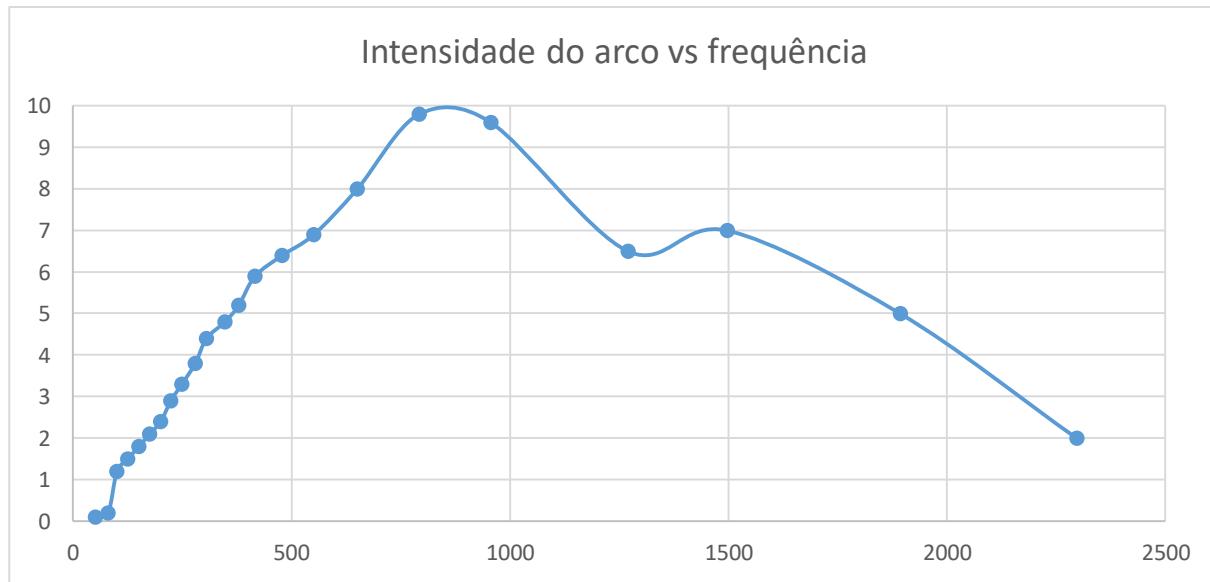


Figura 65 Varredura de frequência para analisar a intensidade do arco elétrico formado. A graduação foi determinada pelo autor, por análises visuais e auditivas.

Um outro teste foi feito, com sinal de entrada senoidal, para avaliar o ganho de tensão pela frequência do sinal senoidal e a atenuação do mesmo pelas perdas com histerese e

⁸¹ Note que esta **não** é a frequência do sinal de tensão (que contém componentes de frequência desde alguns Hz até vários MHz), mas da repetição (chaveamento) do pulso de tensão.

correntes parasitas⁸². Os dados, representados na Figura 66, não são válidos para uma análise quantitativa, pois a interferência do equipamento de medição (osciloscópio) nas medidas não poderá ser desprezada (efeito de carregamento). Também o ganho em cada frequência pode variar com o módulo do sinal de entrada, visto que a permeabilidade do núcleo não é linear. Assim sendo, apresenta-se o gráfico da Figura 66 como informação qualitativa do que se esperava: o decaimento do ganho da bobina em frequências muito altas⁸³ e possíveis comportamentos ressonantes. Após, mediu-se com o osciloscópio o tempo de carregamento do indutor primário, obtendo uma constante de tempo de aproximadamente 1 ms.

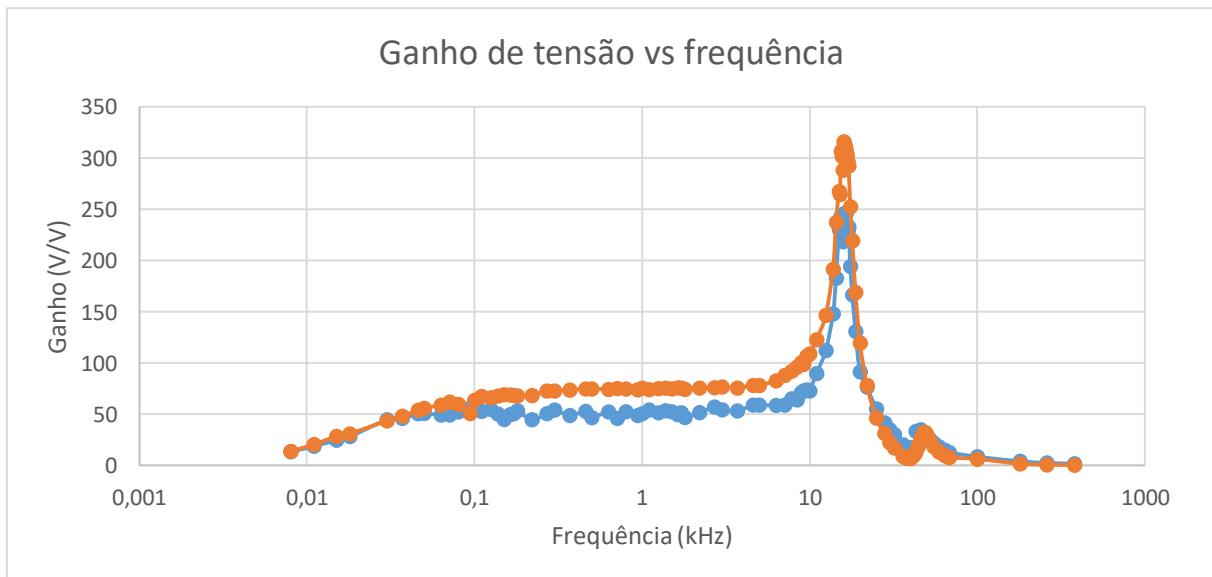


Figura 66 Gráfico de ganho de tensão por frequência do sinal senoidal de entrada. Há uma ressonância para sinais com frequência de aproximadamente 16 kHz.

Para conseguir-se uma modelagem do comportamento real da bobina, modelar as perdas no núcleo ferromagnético, fez-se algumas simulações utilizando o software MATLAB, incluindo a dinâmica da resistência dreno-fonte do transístor e as perdas no núcleo ferromagnético, resultando em uma atenuação não linear da tensão com a composição em frequências da corrente. Nas figuras seguintes (da 67 à 76) estão os resultados da simulação da dinâmica da corrente na bobina, do sinal ideal de tensão ideal e o resultado efetivo da tensão (que considera as perdas no núcleo), condizente com os valores empíricos:

⁸² Estes dados foram analisados para modelar-se e reconstruir o sinal real utilizando a transformada de Fourier inversa.

⁸³ Pelas perdas por histerese e correntes parasitas, proporcionais à primeira e segunda potência da frequência.

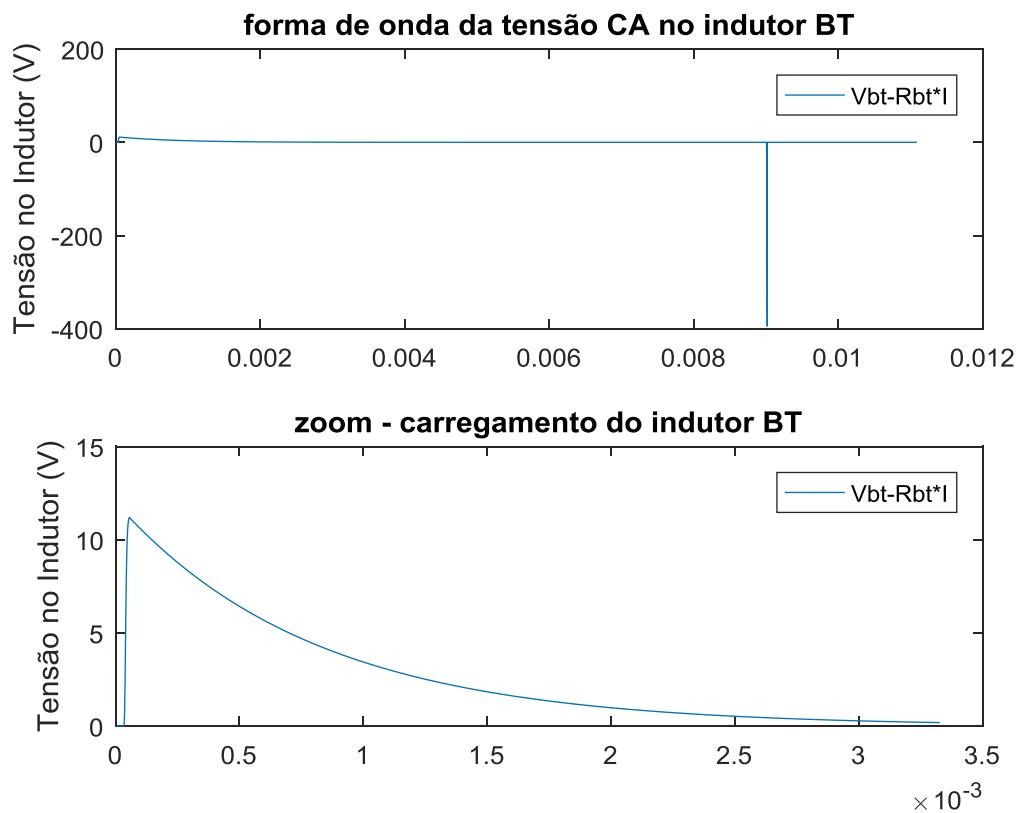


Figura 67 Tensão no indutor primário (L_{bt}) - situação ideal. Tempo em segundos.

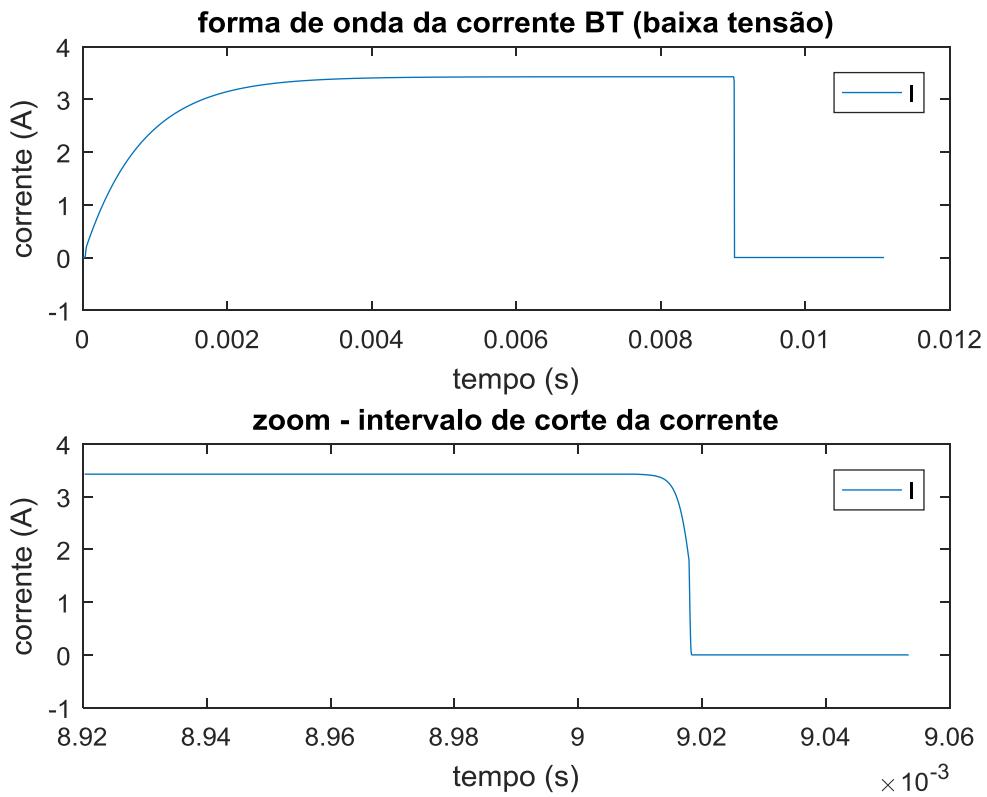


Figura 68 Corrente que passa pelo indutor primário. Ênfase na rápida variação no intervalo de corte.

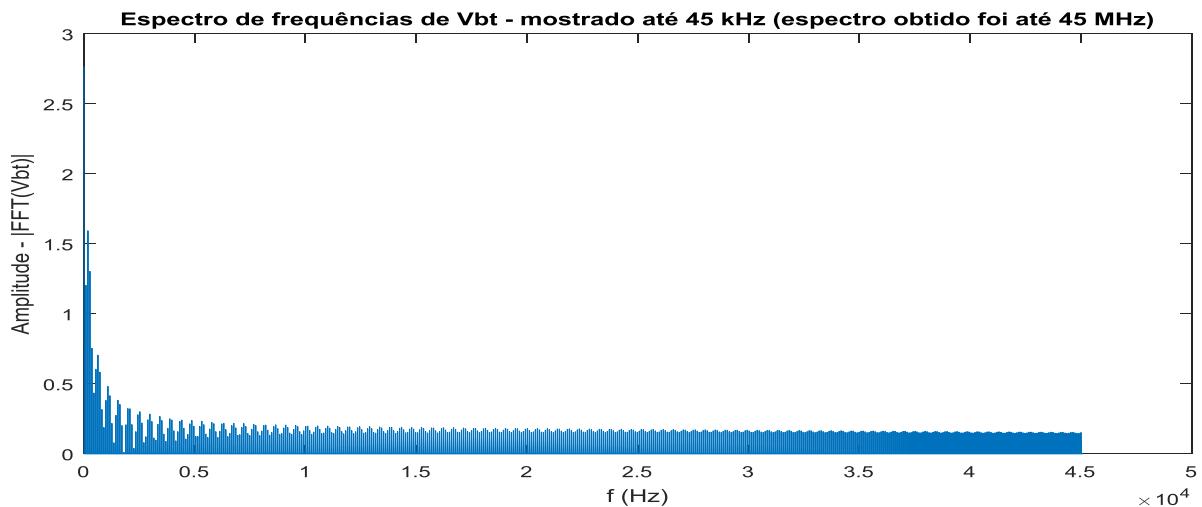


Figura 69 Transformada de Fourier da tensão no indutor primário – situação ideal. Espectro limitado a 0.1% do total. Intensidade não normalizada. Amplitude da componente fundamental ~ 2.8 .

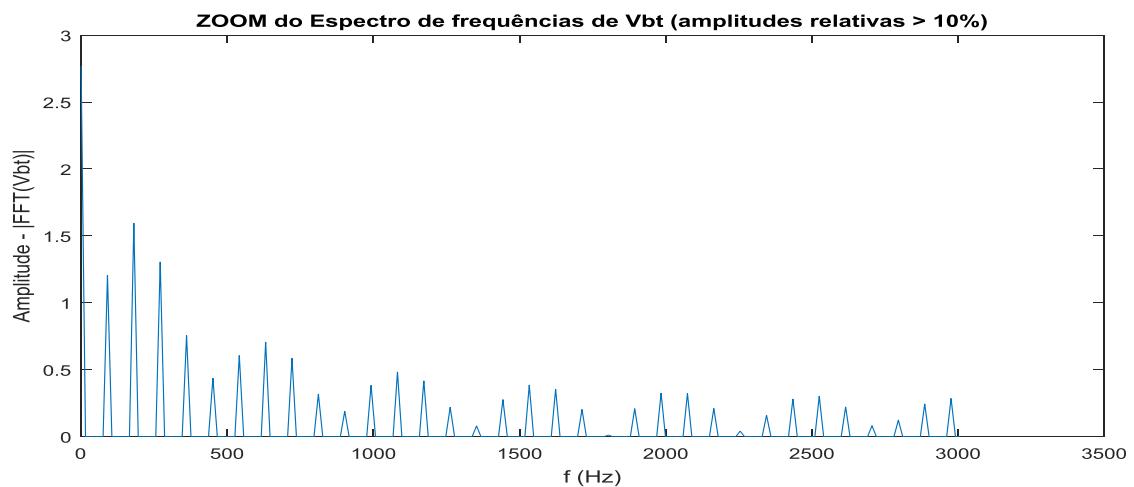


Figura 70 Transformada de Fourier da tensão no indutor primário – situação ideal. Ênfase no padrão de atenuação das harmônicas.

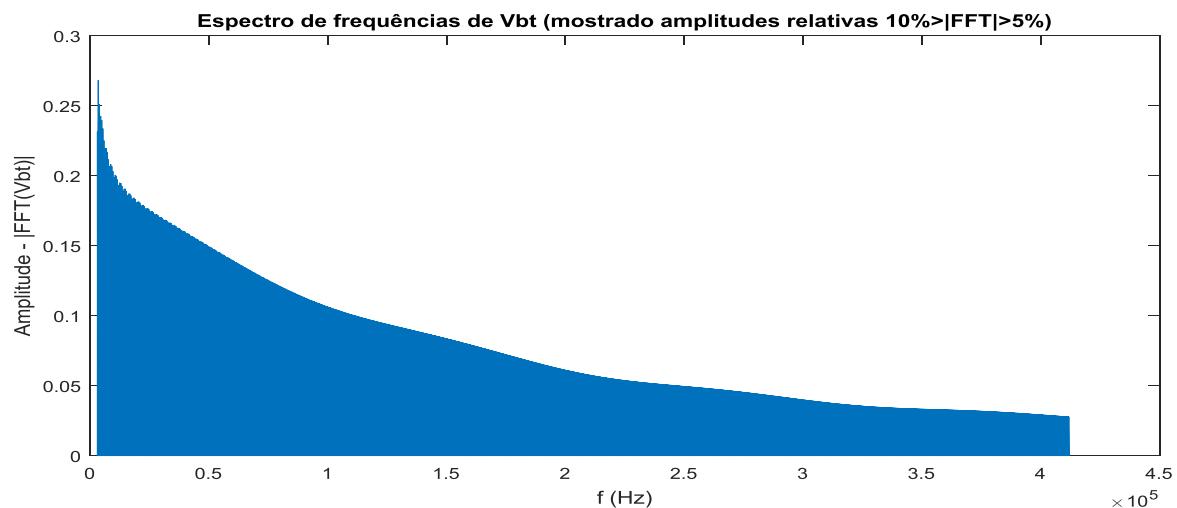


Figura 71 Transformada de Fourier da tensão no indutor primário – situação ideal. Espectro mostrado apenas para harmônicas com módulo entre 5% e 10% do pico, enfatizando a dinâmica da atenuação.

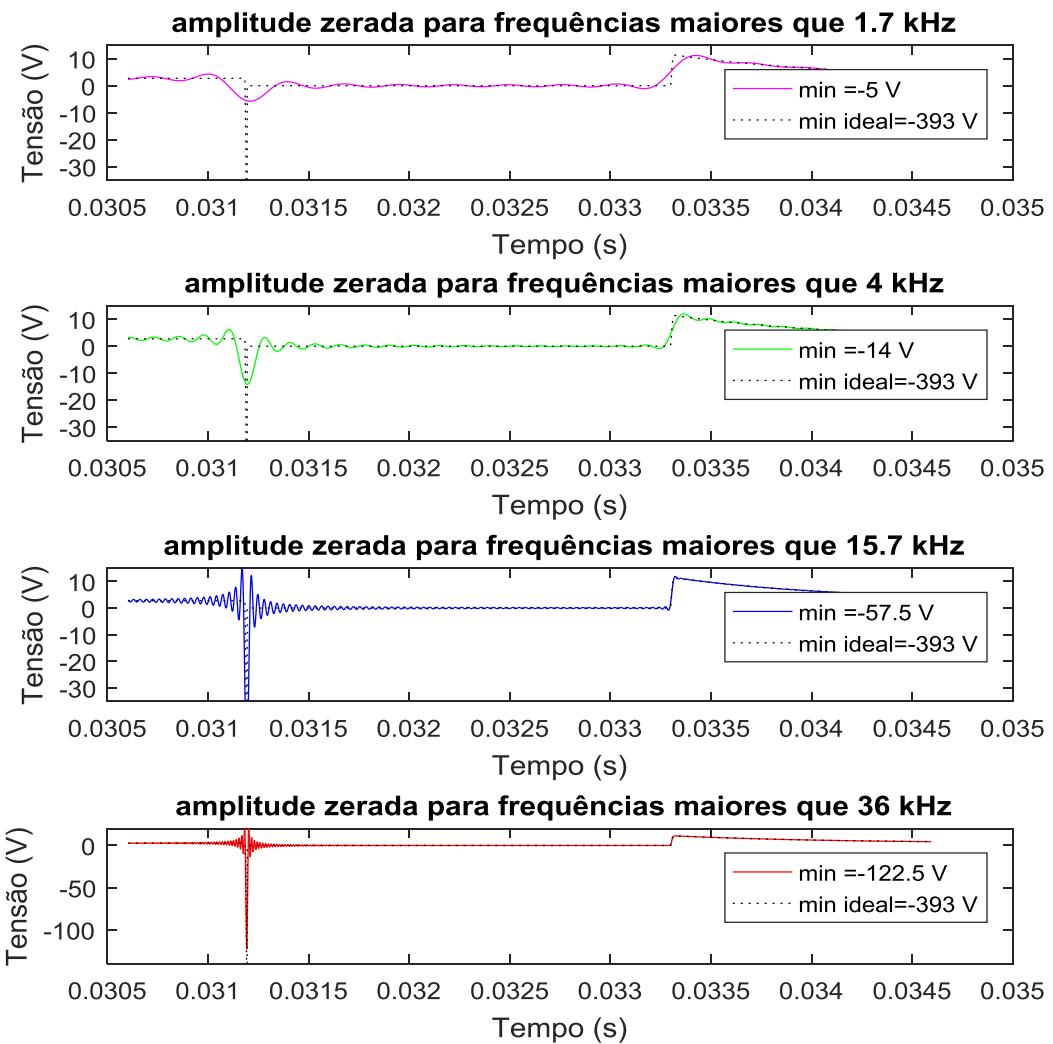


Figura 72 Reconstrução da tensão no indutor, com filtro passa-baixa ideal. Frequências de corte indicadas na figura. A tensão obtida no indutor primário pelo equipamento montado está em torno de 100 V, portanto com frequência de corte menor que 36 kHz.

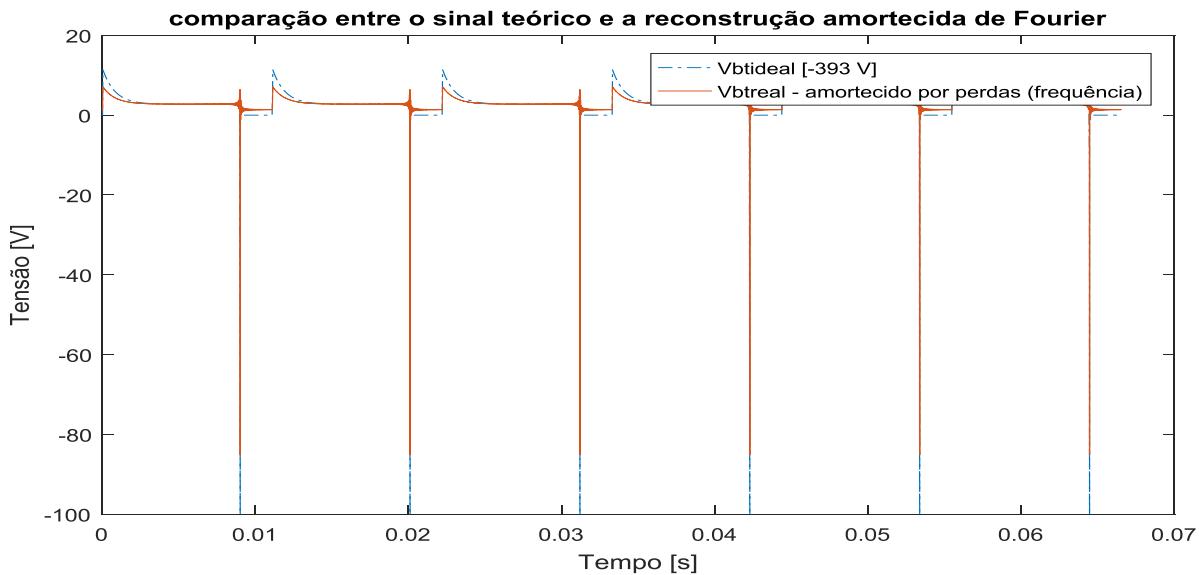


Figura 73 Diferenças entre o sinal de tensão ideal no indutor primário e o reconstruído. O pico do sinal ideal (-393 V), em azul, não foi mostrado. O pico do sinal reconstruído foi cerca de -90 V.

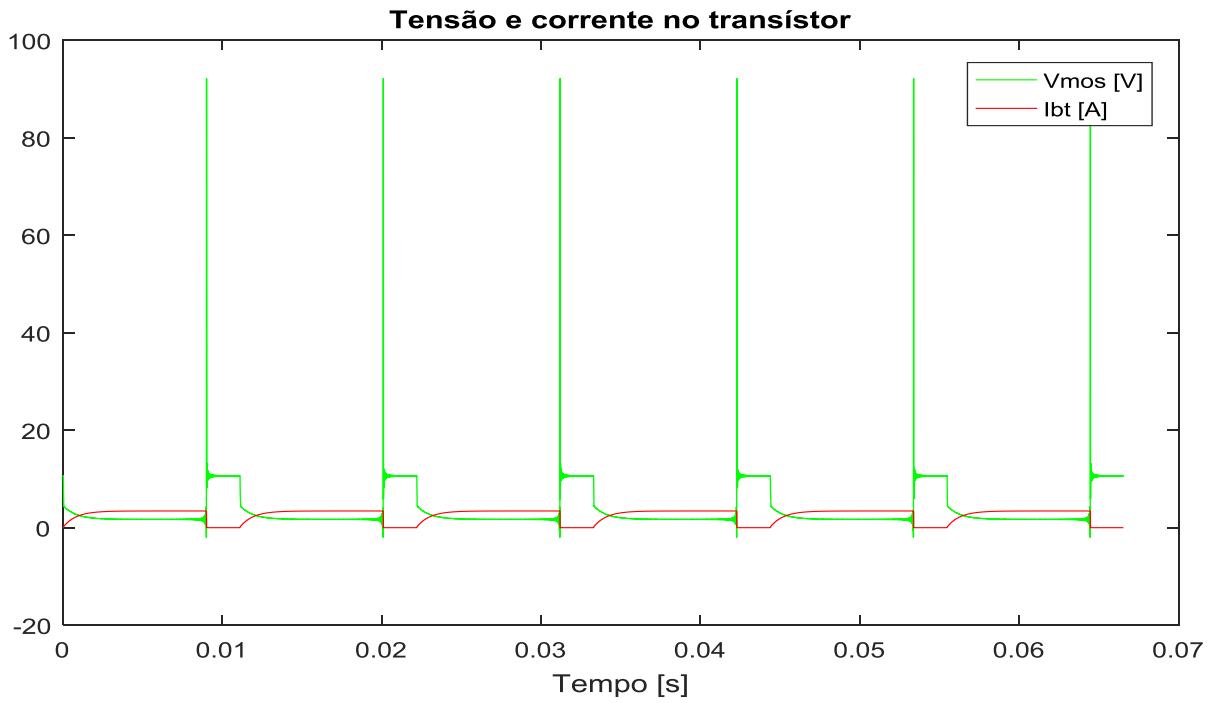


Figura 74 Corrente no transístor e tensão reconstruída. A tensão no transístor é semelhante à da Figura 55.

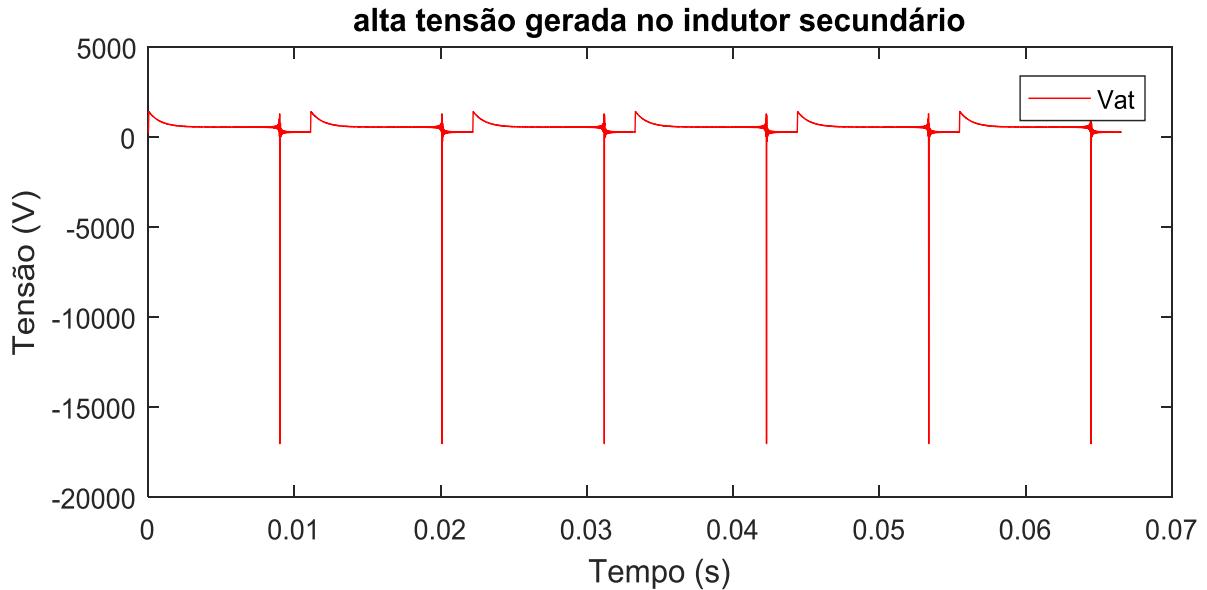


Figura 75 Pico de 15~20 kV no indutor secundário, capaz de romper cerca de 2 cm de ar ponta-ponta ou de 1 a 1,5 cm ponta-plano. Reconstrução do sinal com atenuação em altas frequências, simulando as perdas por histerese e correntes parasitas no núcleo.

Em seguida, fez-se um teste com alguns objetos (metálicos e isolantes juntos) para observar a intensidade e distribuição do halo corona e a isolação do dielétrico (ver Figura 77). Verificou-se que este ainda não era suficiente para impedir uma corrente corona intensa e que, neste nível de tensão, o halo se formava apenas em objetos usualmente condutores.



Figura 76 Forma de onda da tensão no indutor primário mostrando o efeito de carregamento do indutor. Frequência de chaveamento: aproximadamente 90 Hz e T_{on} aproximadamente 9 ms, possibilitando carregar totalmente o indutor. A frequência lida na lateral direita é um valor incorreto, pois mescla-se com a alta frequência do pico de tensão, que não aparece por causa da escala de tensão e de tempo escolhida.

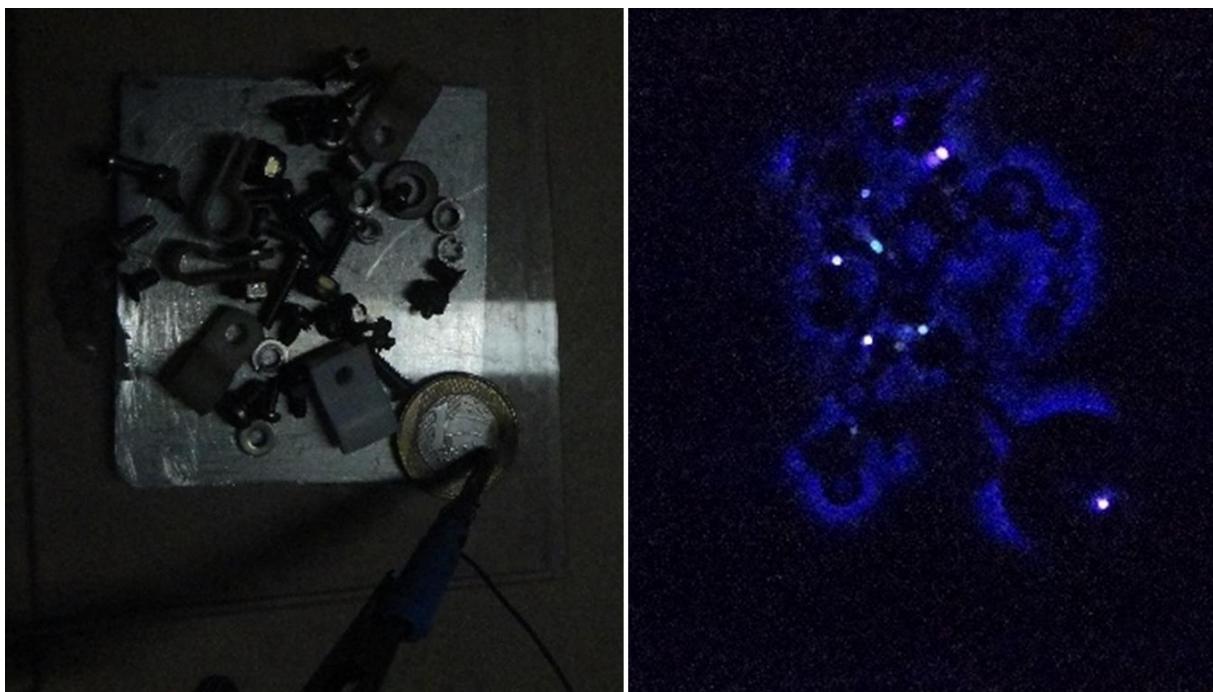


Figura 77 Teste de imagem usando objetos condutores e isolantes espalhados pelo terminal de descarga. A alta tensão induziu intensas correntes para conectar as peças metálicas (rompendo a rigidez do ar que as separa, ionizando-o), desde o eletrodo de descarga (canto inferior direito) até as peças metálicas mais afastadas (lateral superior), buscando colocá-las em um equipotencial. Em seguida, destas para o plano terra (separadas pelo dielétrico), estabeleceu-se o halo corona no contorno das partes metálicas que seja interno à área do plano terra (chapa de alumínio).

Primeiramente, para retirar o ruído de imagem, diminui-se a sensibilidade ISO da câmera (de 1600 para 200). Em seguida fez-se novamente o teste com os objetos individuais (moeda e folha), obtendo-se bons resultados (ver Figura 78 e Figura 79). Observou-se que os locais onde o objeto não está em contato com o dielétrico, a ionização é mais fraca, pois a pequena distância extra é suficiente para reduzir o gradiente de campo abaixo do valor crítico.

Outra correção é escolher objetos menores que o plano terra usado, distando ao menos 3 cm da borda, para uma descarga corona bem distribuída.



Figura 78 O halo corona de uma moeda produzido com a montagem do teste 3. O halo formou-se no contorno, mas não aparece na superfície. Pela reflexão do eletrodo planar, supôs-se que o brilho superficial aparece no lado deste eletrodo.



Figura 79 O halo corona de uma folha produzido com a montagem do teste 3. As falhas no halo corona provavelmente deve-se a três fatores: falhas no contato com o dielétrico plano, atenuando o gradiente local do campo; dispersão do gradiente por efeito de ponta, nas regiões do objeto que estão próximas das extremidades do eletrodo planar; baixa concentração de íons do objeto (pouca seiva, ou já evaporada, ou extremidade do objeto já carbonizada).

Feito estes ajustes, aparato está pronto para testes bioeletrográficos de contorno. Todavia, a Figura 78 mostra o que parece ser a descarga corona da superfície do objeto em contato com dielétrico que o separa do plano terra, e que está sendo refletida por este (chapa de alumínio).

Para verificar isto e obter uma imagem mais completa, caso seja confirmado, investigou-se outras configurações de eletrodos, polaridades e materiais usados. A simples inversão dos eletrodos produziu mudanças de intensidade no halo corona, porém não

influenciou na descarga superficial. A geometria do eletrodo planar como um disco também intensificou um pouco a descarga, já que havia menos perdas por corona do que no plano retangular (efeito de ponta). Para mudar o material, descobriu-se duas possibilidades: usar um *petri dish* ou um eletrodo condutor que seja transparente.

Um *petri dish* consiste em uma solução salina dentro de duas camadas finas de acrílico ou outro dielétrico transparente (ATZINGEN, 2003; MARKUS; LEE, 1996). O objeto é bem vedado para não vazar a solução e é esta que torna-se ionizada quando há alta tensão. O brilho geralmente é mais intenso e necessita-se menor tensão para produzir as imagens. Contudo, esta técnica não serve para os propósitos deste trabalho, já que o ambiente ionizado e fotografado não tem relação direta com os metabólitos excretados do corpo de teste (e sim com a solução salina, conservando apenas o formato aproximado do objeto).

Para eletrodos transparentes, pode-se utilizar o mesmo material que é usado em telas de celulares e *tablets* “*touchscreen*”: óxido condutor transparente (TCO – *Transparent Conducting Oxide*), geralmente do tipo óxido de índio-estanho (ITO – *Indium Tin Oxide*). Um ITO, consiste de um substrato transparente (geralmente vidro ou filmes finos) com crescimento, em um dos lados, de camadas de uma mistura de índio, estanho e oxigênio, que tem como propriedades especiais baixa resistência elétrica superficial ($\approx 10 \Omega/m^2$) e boa transmitância na faixa óptica do espectro eletromagnético ($\approx 80\%$). O crescimento é feito em malhas, como uma grade, dando a resolução bidimensional para a interface “*touchscreen*” dos celulares e *tablets*. Para o propósito deste trabalho, pode ser considerada como um plano condutor transparente, que já contém um dielétrico anexado (vidro), dispensando o uso do acrílico. O quarto e último ensaio de teste foi feito utilizando-se uma tela de 7” (diagonal de sete polegadas) para *tablet*, que é feita com ITO.

4.3.4 Teste 4

Para o último circuito, trocou-se a bateria de 40 V e 8 Ah para uma fonte de 12 V que fornece até 30 A, minimizando o aquecimento nos divisores de tensão resistivos, reduzindo o peso e volume do equipamento e tornando dispensável a fonte Minipa de 12 V usada no controle do temporizador LM555N, fazendo com que o equipamento não dependa de uma bancada de laboratório e seja portátil (bastando conectar a fonte em qualquer tomada 127/220 V). Além disso, usou-se a tela de *tablet* como terminal terra e dielétrico, melhorando a captura das imagens. O aparato, em sua versão final, ficou conforme a Figura 80.



Figura 80 O equipamento bioeletrográfico construído. Em cima, o equipamento fechado, com a saída da bobina em um terminal metálico no centro da tampa e a saída aterrada em um terminal pontiagudo livre. O botão verde é para ativar o circuito de alta tensão. Os botões na frente controlam os potênciômetros do LM555N, portanto ajustam a frequência de chaveamento. Embaixo há o equipamento aberto à esquerda (mostrando a bobina, a fonte CC o dissipador do transistor e um divisor resistivo menor que conservou-se para operar abaixo do usual da bobina), e o terminal de descarga à direita (a superfície dielétrica está em contato com o terminal fixo de alta tensão; o terminal terra é conectado à malha condutora do ITO, que está em contato com a moeda).

Observando as imagens para diferentes configurações, concluiu-se que para uma descarga superficial melhor, o objeto deve ser colocado em cima da superfície condutora (aterrada), que serve como um plano terra transparente, e o dielétrico do ITO conectado ao terminal de alta tensão (pequena área superficial). Alternar qual eletrodo a ser aterrado não

mostrou relevância na imagem. Aumentar muito a superfície pequena diminui a intensidade do halo corona. Diminuí-lo para um eletrodo pontiagudo compromete a homogeneidade da imagem para objetos de baixa condutividade e irregulares (algumas partes mais distantes do eletrodo pontiagudo não seriam bem ionizadas).

A seguir são mostradas algumas imagens utilizando uma moeda de R\$1,00 como objeto (ver Figura 81 à Figura 86). Novamente testou-se qual sensibilidade ISO da câmera resultaria em uma imagem mais nítida.

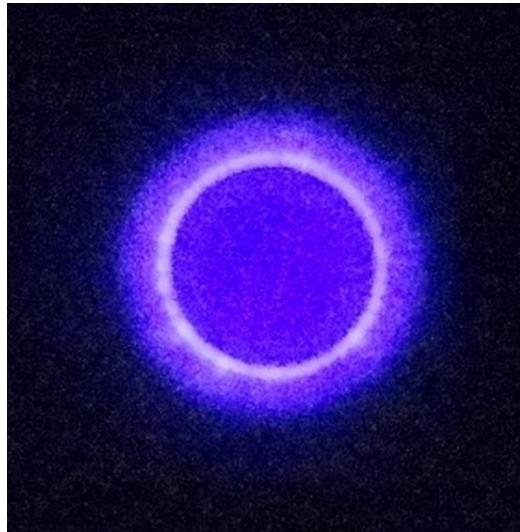


Figura 81 Descarga corona em uma moeda, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 1600. O brilho intenso tornou o halo difuso, prejudicando a nitidez da imagem central e dificultando o processamento de imagem, pois há muitos pontos bilhantes como fundo da imagem.

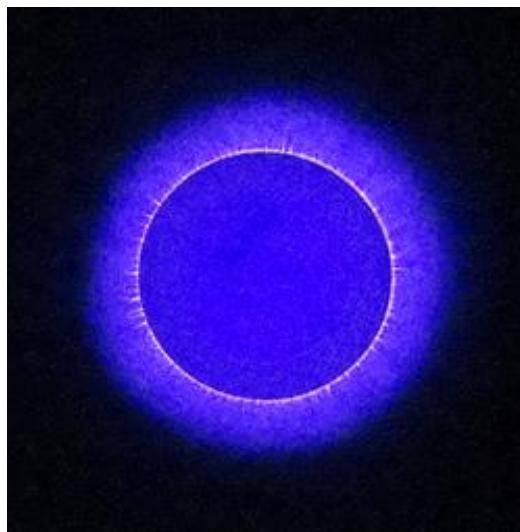


Figura 82 Descarga corona em uma moeda, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 800. O halo ainda está difuso, mas algumas faíscas já podem ser observadas. A superfície ainda não está nítida e há pontos bilhantes como fundo da imagem.

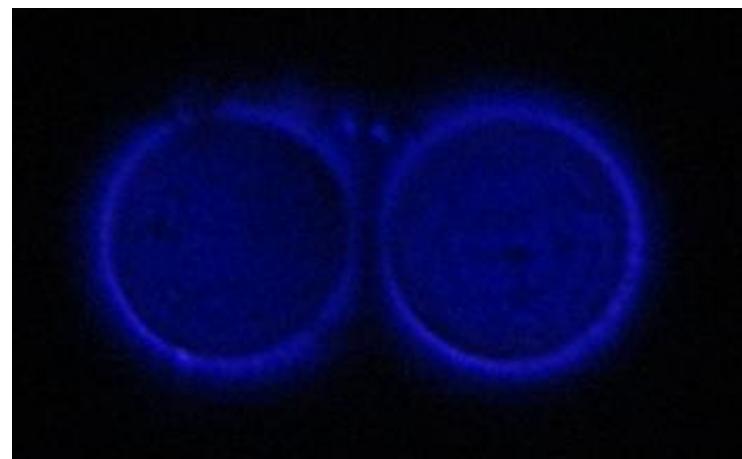


Figura 83 Descarga corona em duas moedas próximas, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 200. Tanto a superfície, quanto o entorno não estão muito nítidos. O fundo está escuro e bem distinto da imagem. Na região entre as moedas há uma sutil divisão (vertical) como linha de equipotencial nulo.



Figura 84 Descarga corona em duas moedas próximas, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 200. Aumento do brilho pela câmera (balanço de branco). Tanto a superfície, quanto o entorno não estão muito nítidos. O fundo está escuro e bem distinto da imagem. Na região entre as moedas há uma sutil divisão (vertical) como linha de equipotencial nulo.

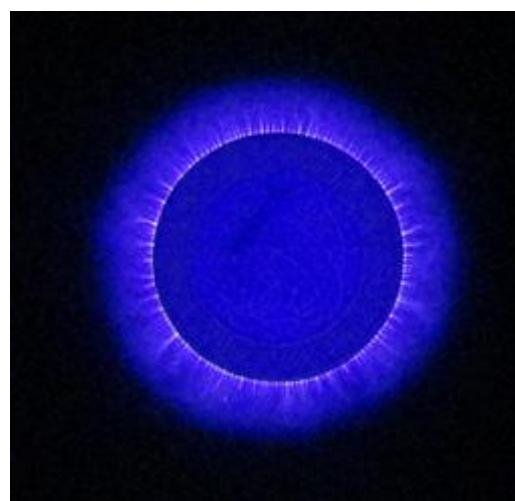


Figura 85 Descarga corona em uma moeda, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 100. Aumento do brilho pela câmera (balanço de branco) Várias faíscas podem ser observadas e a superfície também está nítida (embora um realce de contraste possa melhorar a visualização). O fundo está escuro, bem distinto da imagem.

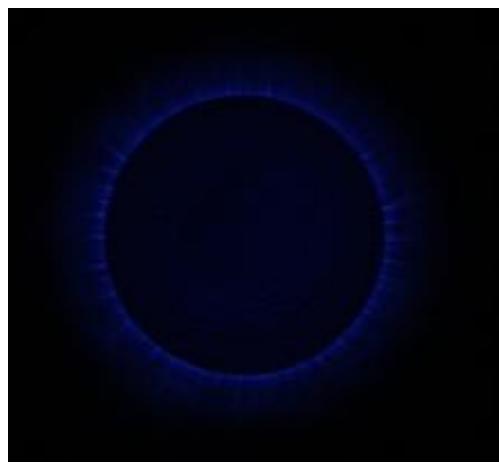


Figura 86 Descarga corona em uma moeda, segundo o aparato do teste 4. Sensibilidade ISO utilizada: 100. Redução do brilho pela câmera (balanço de branco) Várias faíscas podem ser observadas, embora a imagem esteja escura. A superfície está nítida, mas precisa de realce de contraste para ser observada. O fundo está escuro, bem distinto da imagem.

As fotos mostram que uma sensibilidade ISO menor resulta em uma imagem mais escura, porém mais nítida e com a geometria da descarga mais distinguível. Além disso, o fundo da imagem fica mais escuro e homogêneo, facilitando análises e recortes via software. Para visualizar particularidades da imagem, pode-se separá-la nas componentes RGB (*red*, *green* e *blue*). A Figura 85, por exemplo, é desdobrada na Figura 87. Já a Figura 86, ao ser desdobrada em suas componentes, precisou de realce de contraste, mostrado na Figura 88.

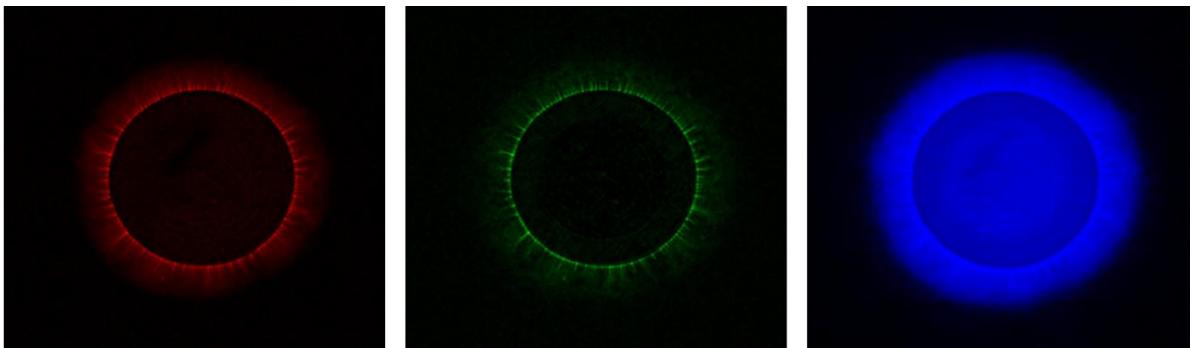


Figura 87 Componentes RGB da Figura 70. Nenhum processamento de imagens foi feito posteriormente. Uma análise preliminar pode ser feita observando-se a geometria da descarga em cada componente e as respectivas intensidades.

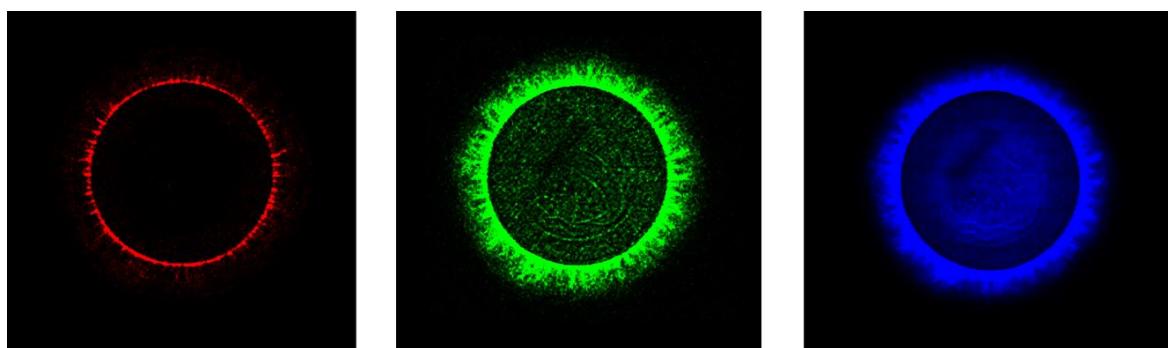


Figura 88 Componentes RGB da Figura 69. A componente vermelha foi extraída e aplicada contraste (segundo Apêndice F) com potência=3 e limiar=1; o mesmo foi feito para a componente verde; à componente azul, após extraída, foi aplicado um contraste com potência=2 e limiar=7. Tais processamentos de imagem auxiliam na visualização, mas para análises computacionais deve-se usar os valores iniciais.

Propôs-se fazer uma análise para observar a estabilidade de uma imagem obtida sequencialmente, usando-se os mesmos parâmetros. Constatou-se que qualquer deslocamento ou vibração mecânica na câmera corrompia o ato de comparar pixel a pixel a sequência de imagens, portanto seria necessário, além de um suporte fixo, um disparador automático *wireless* ou via *software*. Tais impedimentos não foram superados no curso deste trabalho, ficando como sugestão de continuação.

Por fim, obteve-se dois resultados não usuais, que corroboram a literatura sobre o assunto:

- a) Bioeletrografias consecutivas ou que eletrizem o objeto por muito tempo podem afetar suas propriedades. Uma folha submetida à descarga corona por um minuto teve suas bordas carbonizadas pelo gradiente de temperatura local, já que a descarga corona estava intensa nas bordas. Este resultado foi apresentado por Korotkov e Popechitelev (2002), revisado na seção 2.2 ÁREA – FORMAÇÃO DAS IMAGENS KIRLIAN E FATORES PERTURBATIVOS, e pode variar de acordo com o equipamento utilizado.
- b) O efeito acima derrete ou vaporiza líquidos, gorduras e outras substâncias da superfície de objetos bioeletrografados, que podem condensar ou impregnar na superfície de descarga (neste caso, no eletrodo transparente de ITO). O acúmulo de substâncias no eletrodo poderá produzir imagens fantasma quando eletrizado. Abaixo, na Figura 89, são apresentadas duas fotografias do ITO usado, com marcas que ficaram da moeda de R\$1,00 submetida à várias bioeletrografias.



Figura 89 Marca da moeda bioeletrografada, formada por água, gordura e suor (que ficou na moeda durante o manuseio) derretida durante as descargas corona.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento bioeletrográfico foi construído por melhorias sucessivas. Na primeira versão a energia da faísca era baixa, assim como o efeito corona produzido. A fonte de tensão utilizada não suportava o chaveamento de corrente que a bobina requisitava.

Na segunda montagem, a bateria tinha tensão além do ponto de operação dos componentes, sendo necessário divisores resistivos, que aquecia muito todo o sistema. Não se conseguiu imagens nítidas, então aumentou-se a corrente na bobina, que se desgastou e queimou.

Na terceira montagem, um resistor de fio foi utilizado, juntamente com uma ventoinha. A bobina foi trocada por um modelo compacto e melhor isolado, que suportava correntes e frequências de chaveamento maiores. Com esta montagem houve a formação de arco elétrico com *gap* de até 1.5 cm de ar. As imagens tinham boa definição, porém os eletrodos atrapalhavam a captura, por bloquearem a descarga na superfície.

Na quarta e última montagem, acoplou-se um eletrodo transparente do tipo ITO reforçando as imagens e melhorando a perspectiva de captura. Com isto, os componentes foram colocados em uma caixa de madeira para segurança e organização, finalizando a montagem de um equipamento bioeletrográfico.

4.4.1 Resultados da análise empírica

Sinteticamente, os **resultados da análise empírica** foram:

- Vários fatores alteram a imagem corona induzida em um objeto, tais como: tensão aplicada no objeto, composição de frequência da tensão aplicada (advindos das harmônicas da corrente no indutor), frequência de chaveamento (tempo entre os pulsos de alta tensão), aterramento e geometria dos eletrodos e tempo de exposição do objeto à alta tensão.

- Se um objeto é sujeito à descarga corona para a bioeletrografia, pode haver modificação de sua superfície. Quando é um objeto inorgânico, os resíduos de sua superfície são afetados pela descarga corona superficial, oxidando-se ou evaporando (se há resíduos de gordura, do próprio manuseamento humano, esta marcará a superfície do eletrodo onde o objeto estiver).

- A imagem bioeletrográfica induzida deve ser obtida em ambiente escuro, pois, além de ser fraca em intensidade, a reflexão da luz ambiente misturar-se-á à imagem capturada, sobrepondo-se à descarga corona.

4.4.2 Resultados da compreensão teórica

A compreensão teórica dos fenômenos envolvidos na bioeletrografia permite as seguintes avaliações:

- o olho humano não é um aparelho adequado para analisar imagens bioeletrográficas;

- as câmeras digitais também distorcem o espectro, porém são mais estáveis que o aparelho visual, permitindo inclusive uma análise computacional automatizada. Todavia, também são tricromáticas (filtros RGB), inviabilizando uma especificação espectral do objeto e de suas alterações respectivas.

- as alterações biológicas podem refletir alterações espetrais fora do espectro óptico, englobando todo o espectro eletromagnético.

- uma correlação segura e direta das alterações espetrais intrínsecas do objeto em análise está nas modificações físico-químicas que este apresente. Ou seja, mudanças em seu espectro térmico estão relacionadas a alterações de sua composição molecular (superficial ou interna).

- uma correlação entre alterações da descarga corona induzida em um objeto (método atual de bioeletrografia) está relacionada ao gradiente de campo aplicado, à composição química e geométrica do objeto, do sistema de alta tensão e do meio dielétrico, da temperatura e umidade do meio, e outros fatores estocásticos, (como a concentração de elétrons livres e a distribuição espacial de cargas). Também será afetada pelo método de captura da imagem, dependendo da sensibilidade e resolução da câmera digital, da velocidade de captura e leitura dos pixels, etc.

5 DISCUSSÕES

5.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EMPÍRICOS

As fotos Kirlian (bioeletrografias) são sensíveis às alterações ambientais, operacionais e metabólicas (no caso de objetos orgânicos). Separar alterações nas imagens causadas por processos externos de alterações causadas por processos metabólicos ou possivelmente emocionais mostra-se um trabalho dificilmente exequível⁸⁴. Ainda não se encontrou trabalhos que tenham superado esta dificuldade, portanto as análises são feitas sem a reproduzibilidade e imparcialidade exigidas pelo método científico.

Baseado no estado atual da bioeletrografia, propõe-se um método de pesquisa (e possível continuação deste trabalho), para realizar testes confiáveis, reproduzíveis e cuja análise possa ser feita via *software*, automatizada e de forma imparcial. Para tanto, o estudo de padrões, por pessoa ou por doença, deve ser feito com muita cautela, usando amostras grandes, tratamento estatístico, validação cruzada com outras técnicas reconhecidas e controle duplo-cego⁸⁵, através de bons métodos de pesquisa, observação ampla dos fatos e conhecimento profundo dos fundamentos teóricos envolvidos. Deve-se levar em conta outras possíveis causas de alterações e conseguir resultados reproduzíveis, filtrando as informações relacionadas ao objeto das relacionadas ao equipamento ou ao ambiente.

Caso padrões sejam identificados, correlacionando alterações orgânicas com alterações nas imagens, um banco de dados pode ser criado para análises automáticas via *software* (utilizando redes neurais, comparação sistemática de pixels ou aproximações por modelagem analítica das alterações).

O procedimento de pesquisa proposto está dividido em 10 etapas, para a construção metódica de um banco de dados, englobando um modelo de calibração e validação cruzada das análises:

⁸⁴ Ver, no APÊNDICE A, detalhes das pesquisas de Thelma Moss, na UCLA e de Hernani Guimarães Andrade, no IBPP.

⁸⁵ Segundo Korotkov (2010a), no controle duplo-cego ambos, o sujeito e o investigador, desconhecem se o sujeito recebeu medicamento ou dose placebo. E quem analisa os dados não tem contato com o sujeito, preservando a imparcialidade.

- i. Escolha da **superfície de análise** – geralmente um ou mais dedos das mãos para seres humanos ou as folhas, no caso de vegetais;
- ii. Avaliar na literatura ou por meios experimentais a **composição fisiológica local** dos metabólitos excretados;
- iii. Registrar **sucessivas imagens bioeletrográficas** de uma **amostra considerada saudável** na(s) área(s) de análise escolhida – grupos de 5 imagens dentro de intervalos menores que um minuto, espaçados horas ou dias entre si, totalizando 5 grupos (registrando e padronizando os períodos);
- iv. **Determinar** quais **indicadores** sofrem menos influência estocástica (geometria da imagem, luminosidade, componentes RGB, largura média das descargas no entorno, brilho e área da região central, contraste da descarga nas separações entre superfícies do objeto e o dielétrico que o envolve, impactos entre descargas corona CC e CA com pouco harmônico, etc.)⁸⁶. Catalogá-los pela média e desvio padrão (para determinar a **confiabilidade do indicador**). Caso não haja indicadores consistentes, repetir o processo (escolhendo outra superfície de análise em i.);
- v. Buscar **vínculos fisiológicos entre metabólitos e indicadores** (este passo pode ser ignorado nos testes de verificação deste método);
- vi. **Repetir** os procedimentos de ii. a v. para **amostras consideradas “afetadas/doentes”**, assim determinadas por outros métodos, de prática consolidada e bem aceita. Deve-se encontrar indicadores que sejam específicos para cada doença (ou, pelo menos, consistentes em um mesmo grupo de doenças);
- vii. Construção de um **banco de dados com esses parâmetros**, e identificar se há conflito entre indicadores ou impactos na confiabilidade. **Filtrar** o banco de dados, retirando indicadores comprometidos;
- viii. Determinar quais estados orgânicos/doenças o equipamento bioeletrográfico está **apto a diagnosticar**.
- ix. Construção de um software de diagnose que **analisa a imagem digital**, compara-a com o banco de dados e **retorna o diagnóstico e a confiabilidade**.
- x. **Validação cruzada** – comparação entre os resultados obtidos pela análise do software com o estado orgânico respectivo da amostra, determinado por outro(s) métodos já consolidados clinicamente.

⁸⁶ Ver trabalhos de Korotkov e Korotkin (2001), Halkias e Maragos (2004), Markus e Lee (1996)

Assim como um exame de sangue, que não pode retornar qual doença o paciente tem, apenas comprovar ou refutar doenças escolhidas para serem testadas, **a máquina bioeletrográfica não pode diagnosticar qualquer doença, apenas confirmar ou refutar baseada no aprendizado heurístico que a embasar**, ou seja, nas doenças que seu *software* esteja apto a analisar.

5.2 ANÁLISE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma análise teórica mais refinada permitiu a elaboração de um método de pesquisa mais completo e preciso, que engloba não só o espectro óptico, mas, a priori, todas as bandas de frequência do espectro eletromagnético.

Em nível mais amplo, a **bioeletrografia**, aplicada em seres humanos, mostra-se como uma tentativa de catalogar **padrões gerais de alterações** no espectro eletromagnético natural, correspondentes a determinadas alterações do estado fisiológico.

Se as variações espectrais⁸⁷ entre estados orgânicos de um mesmo indivíduo forem consistentes (reprodutíveis e qualitativamente válidas para outros indivíduos), poder-se-ia catalogá-las e identificar-lhes indicadores específicos (marcadores) que sempre apareçam quando a respectiva causa se apresente⁸⁸. Desta forma a bioeletrografia tornar-se-ia um método de diagnose científico, como ocorreu com a tomografia computadorizada, a ressonância magnética nuclear, a ultrassonografia, etc.

As variações podem ser avaliadas pela emissão de todo o corpo do indivíduo, ou de partes dele, como da mão, da ponta do dedo ou da frente ou topo da cabeça, **desde que o espectro no local escolhido também retrate uma mudança consistente com a causa**. Até então, o único fator para a escolha do local ótimo tem sido a praticidade, por isto a bioeletrografia das digitais. Com contribuições da bioquímica, da imunologia e da anatomia

⁸⁷ **No espectro emitido naturalmente pelo corpo** (“espectro térmico” – em todas as bandas de frequência). Isto substitui o método, ainda corrente, de analizar-se o espectro (óptico) na presença de um campo eletromagnético (e.g. ao submeter-se o objeto à pulsos de alta tensão), via imagens (as fotos Kirlian).

⁸⁸ Considerando-se a possibilidade de marcadores que sejam exclusivos para cada causa.

patológica, pode-se direcionar a busca, inclusive encontrando locais distintos para diferentes grupos de alterações.

Sob este ponto de vista, a bioeletrografia englobaria também as pesquisas com emissões ultrafracas de fótons (UPE) do corpo humano e biofótons, que já estabeleceram algumas correlações no espectro óptico, em função de reações envolvendo o oxigênio no sangue (radicais livres) (WIJK et al., 2013) e em função de comunicação celular e armazenamento espectral com remissão coerente (KARBOWSKI et al., 2016). Monitorando a emissão de fótons no espectro óptico com auxílio de contadores de fótons (dada a intensidade ultrafraca da emissão), correlacionou-se mudanças nesta emissão com variações no estado orgânico, tanto em um mesmo indivíduo (variação da UPE sob aplicação de radiação UV, com e sem ingestão de vitamina C e ação anti-oxidante da vitamina C), quanto entre indivíduos de diferentes grupos, para controle (envolvendo carcinoma, diabetes, praticantes de meditação transcendental, tabagismo, artrite reumatoide, correlação⁸⁹ entre UPE e atividade eletroencefalográfica) (IVES et al., 2014; KOBAYASHI et al., 1999; SCHWABL; KLIMA, [200_]; WIJK et al., 2013)

Assim, propõe-se incorporar na bioeletrografia conhecimentos e técnicas da espectrofotometria⁹⁰, combinando sensores de radiação eletromagnética (englobando não só o UV-visível, mas também outras faixas do espectro) mensurando a radiação natural do corpo humano. No local das fontes de radiação (usualmente lâmpadas de deutério ou tungstênio) e das amostras, tem-se, por exemplo, a **emissão natural da fronte** (região equivalente ao córtex pré-frontal) que **atingirá diretamente o detector**, necessitando de monocromadores (ou redes de difração), fotomultiplicadores e adaptações de operação⁹¹. O espectro obtido, com precisão, deve ser repetido até que tenha-se uma **média estatisticamente invariante**, que servirá como base “saudável” do indivíduo. Este mesmo processo seria feito com estados “doentes” e, da comparação dos espectros retira-se os comprimentos de onda indicadores

⁸⁹ Em ratos.

⁹⁰ Na espectrofotometria não há necessidade de destruição da amostra, como em outras técnicas de espectrografia. Além disto, esta abordagem permite adaptação para analisar-se pequenas regiões do corpo sem a necessidade de inserí-las dentro do equipamento (inviável no caso da bioeletrografia), simplesmente fazendo que sua radiação eletromagnética chegue até o sensor (enquanto nos outros modelos de espectrografia esta adaptação não parece viável – as amostras precisam ser coletadas e inseridas no equipamento).

⁹¹ Para detectores muito sensíveis, pequenas variações na luminosidade ambiente produziriam falsos resultados, dificilmente modeláveis, e sua alta intensidade provavelmente ofuscaria os sensores, inviabilizando medidas. Por isso, uma das adaptações seria blindar a medição. O ambiente de operação deverá ser escuro e protegido de outras fontes que emitam nas frequências de detecção, ou este espectro ambiente deverá ser deduzido do espectro do corpo (no caso de não ofuscá-lo totalmente). O fotomultiplicador deverá ser adaptado para a banda de detecção.

(marcadores) para determinada alteração fisiológica (direta ou indireta), criando-se um banco de dados desses marcadores⁹².

As alterações no espectro podem ser vinculadas à **causas fisiológicas diretas ou indiretas**, devido respectivamente, à fatores biológicos e fisiológicos e à fatores emocionais e psíquicos⁹³. Por **causas diretas**, entende-se as que estão associadas à enfermidades ou patologias orgânicas⁹⁴, dietas alimentares⁹⁵, ou aspectos físicos, anatômicos⁹⁶. Por **causas indiretas**, concebe-se as **alterações fisiológicas** que sejam causadas por excitações emocionais⁹⁷, estados alterados de consciência⁹⁸, fortes intenções⁹⁹ ou capacidades psíquicas¹⁰⁰. Outra possibilidade seria dividir-se tais alterações no espectro causadas por **mudanças fisiológicas internas ou externas**. Estas resultam de alterações no entorno do organismo (mudanças na homeostase, temperatura corporal, taxas e composições da transpiração e secreções corpóreas). Já as mudanças internas englobam processos bioquímicos, cujos fótons atravessem a superfície corporal, também afetando o espectro geral emitido pelo organismo.

Um método, semelhante ao apresentado na seção anterior, pode ser adaptado para catalogar estados orgânicos analisando quais comprimentos de onda se mostrem relacionados à cada estado pesquisado. Por exemplo, para uma doença/estado, pode haver indicadores consistentes dentro da faixa do microondas e do ultravioleta, enquanto que para outra doença/estado os marcadores podem estar no micro-ondas, infravermelho longo e na banda óptica. Inicialmente seria difícil delimitar as bandas de pesquisa e catalogar tais indicadores, todavia, como feito nas técnicas com raio-X, tal conhecimento permitiu refinamentos sucessivos nas técnicas, e especificidades nas aplicações¹⁰¹.

⁹² As pesquisas com UPE determinaram que há correlação estatística entre essa emissão natural e alguns estados do corpo humano. O método aqui proposto é para isolar os marcadores que sejam específicos para cada alteração.

⁹³ Excluiu-se fatores ambientais, supondo-os monitorados e seus efeitos controlados.

⁹⁴ Por exemplo inflamações, viroses até diabetes ou câncer.

⁹⁵ Por exemplo, consumo de café, álcool até administrações alopáticas ou homeopáticas.

⁹⁶ Por exemplo machucados externos, cortes, queimaduras até prática esportiva ou retirada de algum órgão.

⁹⁷ Se estiver comprovado, por exemplo, o aumento que um estado de **ansiedade** provoca na **temperatura** corporal e na transpiração; o impacto que um estado de **fúria** provoca na **sensação cerebral de dor**; que a **depressão** neuroquímica afeta o **metabolismo** a tal ponto que mudaria o espectro emitido. Assim também com a **mágoa, inveja, empatia, piedade, alegria, euforia, tédio, calma**, etc.

⁹⁸ Estados de profundo relaxamento, êxtase, concentração intensa, captação mediúnica, etc.

⁹⁹ Por exemplo, fortes intenções de cura (e auto-cura), de capacidade de memorização ou lembrança, ou mesmo de violência, assassinato ou intenções suicidas.

¹⁰⁰ De controle do ritmo cardíaco, de dessensibilização (intencional) à dor, de sujeição à hipnose, etc.

¹⁰¹ Mais detalhes são apresentados no **APÊNDICE A**, seção A.1.

5.3 NOVAS PERSPECTIVAS E SUSGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em relação à técnica e metodologia apresentada nos itens anteriores (5.1 e 5.2), pode-se conceber alguns desdobramentos úteis, caso sejam encontrados indicadores consistentes.

1^a Perspectiva – aplicá-la para um método de diagnóstico rápido, não-invasivo, portátil e automatizável, por exclusão.

A leitura do espectro natural e comparação computacional com o banco de dados (marcadores) no *software* (integrado à máquina) produzirá resultados imediatos, podendo diagnosticar uma doença que esteja no banco de dados ou ao menos rejeitar que o sujeito em análise tenha quaisquer das doenças cadastradas. O mecanismo é simples e não invasivo, e o equipamento, portátil.

2^a Perspectiva – análise de estados emocionais (dentro das especificações citadas na seção 5.2) para auxílio em tratamentos psicológicos ou medidas preventivas.

3^a Perspectiva – melhor compreensão da bioquímica corporal mediante análises simultâneas entre reações endógenas e variações no espectro natural, ou avaliando-se o impacto no uso de marcadores radioativos usualmente empregados, ou mesmo buscar medir velocidade ou efeitos de aprendizado (mudança nas reações sinápticas).

1^a Sugestão de trabalho – Continuar a pesquisa via descarga corona, analisando bioeletrografia de organismos saudáveis e infectados, buscando correlações estatisticamente significantes e reproduzíveis.

Usar, por exemplo, folhas de laranjeiras saudáveis e infectadas com Huanglongbing (greening), sintomáticas e assintomáticas, e verificar diferenças estatísticas na descarga corona, possivelmente otimizando o nível de tensão utilizado, entre outros fatores.

2^a Sugestão de trabalho – Construir um equipamento para obtenção do espectro natural emitido pelo corpo humano.

O equipamento pode ser uma composição de sensores que englobem ampla faixa do espectro eletromagnético (sensores p/ micro-ondas, IR longo, médio e curto, óptico e UV) e sejam capazes de operar na intensidade de radiação emitida naturalmente pelo corpo humano e devidamente blindados de interferências (ver seção 5.2). Deve-se levantar a curva de resposta do equipamento para cada banda.

3^a Sugestão de trabalho – Levantamento/aprimoramento do banco de dados dos indicadores de correlação.

Obter grande quantidade de espectros, catalogados por região do corpo, individuo, estado orgânico (definido por métodos consolidados), data ou as possíveis variáveis externas no momento da aquisição, para posteriormente fazer-se a análise dos mesmos, elencando indicadores (por picos espectrais ou mudanças gerais dentro de uma faixa) definindo as correlações, criando um banco de dados consistente e estatisticamente válido, por banda espectral e doença/alteração orgânica.

4^a Sugestão de trabalho – Elaborar o *software* de diagnóstico, que analisará a distribuição espectral obtida pelo equipamento.

O *software* conterá o banco de dados e comparará o espectro obtido com os indicadores cadastrados, em tempo real, resultando no diagnóstico “por exclusão”. As comparações podem ser diretas ou, dependendo do número de indicadores por doença, pode usar-se técnicas como redes neurais.

5^a Sugestão de trabalho – Buscar as correlações físico-químicas para cada faixa ou pico espectral obtido como marcador.

6 CONCLUSÃO

A bioeletrografia ainda não é um procedimento de diagnose completo. Falta-lhe uma metodologia de pesquisa mais rigorosa para conseguir-se testes e análises reproduutíveis e estatisticamente válidas. Todavia tem-se, atualmente, boa compreensão teórica do fenômeno e de suas possibilidades iniciais. O método desdobra-se em novas frentes de pesquisa, como as apresentadas no **capítulo 5** deste trabalho.

A formação das imagens dá-se por efeitos eletromagnéticos de ionização de gases e vapores no entorno do objeto¹⁰² e a subsequente detecção da radiação emitida por filmes fotográficos, câmeras CCD ou pelo olho humano.

Em filmes fotográficos, um efeito de exposição prolongada e descarga bilateral produz cores adicionais (fictícias), como vermelho, amarelo, em contraste com a observação natural da descarga (azul e violeta). Câmeras CCD reproduzem melhor as cores, porém podem integrar parte da radiação UV como azul, distorcendo um pouco as imagens.

Neste trabalho argumentou-se que o mecanismo visual não é preciso nem estável o suficiente para analisar pequenas variações em imagens bioeletrográficas, mesmo que recorrentes. Além disso, tais reconhecimentos poderiam variar de um indivíduo para outro, simplesmente por diferentes quantidades e distribuições de células fotossensíveis na retina e conformações cerebrais de interpretação. Por fim, o processamento cerebral é adaptativo, ofuscando-se com transições bruscas de luminosidade¹⁰³ ou não as percebendo, sendo também inadequado para uma avaliação instantânea.

Ressaltou-se que o espectro óptico (400 – 780 nm) não é, necessariamente, a melhor faixa de frequências a ser analisada na busca de correlações. Propôs-se uma metodologia de pesquisa para testes e análises mais confiáveis e reproduutíveis.

¹⁰² Em MILHOMENS (2000, p. 67-68) encontra-se duas imagens, seguidas das conclusões do autor, que sugerem fenômenos eletromagnéticos de causa desconhecida (uma superfície brilhante adjacente às duas superfícies digitais bioeletrografadas, tratada como um fluxo de energia entre os dois indivíduos participantes. Como o trabalho não apresenta uma metodologia científica, deve ser investigado novamente, de maneira controlada e sob o conhecimento teórico atual, antes de se fazer conclusões precipitadas (ver **APÊNDICE A**, Figura 99 e Figura 100).

¹⁰³ Ver nota 30.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, B. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. **Physical Review Letters**, v. 116, n. 6, p. 061102 1-16, 2016.
- ABDEL-SALAM, M. et al. **High-Voltage Engineering: theory and practice**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. 2000. 725p.
- ALEXANDROVA, R. et al. Analysis of the bioelectrograms of bronchial asthma patients. p. 75-82, 2004. In: KOROTKOV, K. G. (Ed.). **Measuring Energy Fields: current research**. Fair Lawn: Backbone Publishing Co., 2004. p. 193-208.
- ATCHINSON, D. A.; SMITH, G. **Optics of the Human Eye**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. 269p.
- ATZINGEN, G. V. V. **Desenvolvimento de um equipamento para captação do efeito corona em alimentos**. 2013. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.
- BACKHAUS, W. G. K.; KLIEGL, R.; WERNER, J. S. (Ed.). **Color Vision: Perspectives from different disciplines**. Berlin; New York: de Gruyter, 1998. 343p.
- BALAJI, G. et al. Mast cell stabilizing and anti-anaphylactic activity of aqueous extract of green tea (*Camellia sinensis*). **International Journal of Veterinary Science and Medicine**, v. 2, n. June, p. 89-94, 2014.
- BAN'KOVSKIY, N. G.; KOROTKOV, K. G. e PETROV, N. N. Physical image-forming processes in gas-discharge visualization (the 'Kirlian effect') (review). **Soviet Journal of Communications Technology & Electronics**, v. 31, n. 8, p. 29-45, 1986.
- BERU FEDERAL-MOGUL MOTORPARTS. Ludwigsburg, Alemanha. Disponível em: <https://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ti07_ignition_coils_pt_2013.pdf>. Acesso em 15 ago. 2016.
- BESSIÈRES, D.; PAILLOL, J.; SOULEM, N. Negative corona triggering in air. **Journal of Applied Physics**, v. 95, n. 8, p. 3943-3951, 2004.

BIOENERGIA – Núcleo de Estudos e Pesquisas. Disponível em <<http://bioenergia0.tripod.com/apresent.htm>>. Acesso em 16 set 2016.

BONILHA FILHO, S. M. **Campo landeliano**. 2010. 108p. Dissertação (Mestrado em Artes) – Escola de Comunicações e Arte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOSCH AUTOPEÇAS. **Bobinas de ignição**. Catálogo. Campinas. 2016. 104 p. Disponível em: <http://br.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_systems/benzin/benzin_1.html>. Acesso em 20 ago. 2016.

BOYERS, D. G.; TILLER, W. A. Corona Discharge Photography. **Journal of Applied Physics**, v. 44, n. 7, p. 3102-3112, 1973.

BUNDZEN, P. V. et al. Psychophysiological Correlates of Athletic Success in Athletes Training for the Olympics. **Human Physiology**, v. 31, n. 3, p. 316-323, 2005.

CAMPBELL, S. S.; MURPHY, P. J. Extraocular Circadian Phototransduction in Humans. **Science**, v. 279, n. January, p. 396-399, 1998.

CHÉROUX, C. **Fautographie**. Petite histoire de l'erreur photographique. Paris. Yellow Now. 2003.

CIESIELSKA, I. L. Images of corona discharges as a source of information about the influence of textiles on humans. **AUTEX Research Journal**, v. 9, n. 1, p. 36-41, 2009.

COUTINHO, R. E. C. R. **Contribuição para o estudo das alterações kirliangráficas na atividade desportiva**. 1989. 72p. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

CROCKETT, C. J. et al. A search for giant planet companions to T Tauri stars. **The Astrophysical Journal**, v. 164, n. 20, p. 761-777, 2012.

E-FÍSICA. Ensino de física online. Raios-X. Disponível em: <efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x>. Acesso em 30 Jun. 2017.

EINSTEIN, A. On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light. **Annalen der Physik**, v. 17, n. ?, p. 132-148, 1905. Disponível em (versão original e versão em inglês): <<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/100>>. Acesso em 06 dez. 2016.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica**: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. 9nd ed. Elsevier/Campus. 1994. 928 p. [traduzida].

FORNARI, E. **O “Incrível” Padre Landell de Moura**. História triste de um inventor brasileiro. 2nd ed. Rio de Janeiro. Biblioteca do Exército. 1984. 158 p.

GADSBY, J. G. Kirlian photography diagnosis: a recent study. **Complementary Therapies in Medicine**, [v. 1?], p. 179-184, 1993.

GLASHOW, S. L. **From Alchemy to Quarks**. The Study of Physics as a Liberal Art. Califórnia. Brooks/Cole Publishing Company. 1994.

GROTT, H.; GROTT, J. Diagnóstico Oncológico Kirliangráfico. **Revista do Hospital das Forças Armadas**, n. Outubro/Dezembro, 8 p., 1987.

HALKIAS, X. C.; MARAGOS, P. Analysis of Kirlian images: feature extraction and segmentation. **IEEE**, v. n. p. ?, 2004.

HAYT, W. H. Jr.; BUCK, J. A. **Eletromagnetismo**. Tradução de Antônio Romeiro Sapenza. LTC. 2003, 6th ed. 350p.

HECHT, S.; SHLAER, S.; PIRENNE, M. H. Energy, quanta and vision. **The Journal of General Physiology**. v. 20, n. July, p. 819-840, 1942.

IGNATOV, I. et al. Non-ionizing radiation (NIR) waves emitting from human body. **Journal of Medicine, Physiology and Biophysics**, v. 9, p. 1-26, 2015.

IGNATTI, C. Uso de kirliangrafia (bioeletrografia) em diagnóstico e acompanhamento de evolução de cliente em tratamento com toque terapêutico. In: **III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ**, Anais... 2006, [Guarujá], UNAERP, 2006.

INSTITUTE FOR ESOGETIC COLORPUNCTURE. Disponível em <<http://www.colorpunctureusa.org/about-2/about/>>. Acesso em 16 set 2016.

IVES, J. A et al. Ultraweak photon emission as a non-invasive health assessment: a systematic review. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, p. 1-16, 2014.

KARBOWSKI, L. M.; MURUGAN, N. J.; PERSINGER, M. A. Experimental evidence that specific photon energies are “stored” in malignant cells for an hour: the synergism of weak magnetic field-LED wavelength pulses. **Biology and Medicine**, v. 8, p. 1-8, 2016.

KARDEC, A. **O Lívro dos Espíritos**. Tradução de Guillon Ribeiro. 76^a ed, Rio de Janeiro: Federação Espírita Brasileira, 1995, 494 p.

KELDYSH, L. V. Ionization in the field of a strong electromagnetic wave. **Journal Exptl. Theoretical Physics**, v. 20, n. 5, p. 1307-1314, 1965.

KERZENDORF, W. E. et al. A high-resolution spectroscopic search for the remaining donor for Tycho’s supernova. **The Astrophysical Journal**, v. 774, n. 99, 19 p., 2013.

KIRLIANGRAFIA E BIOENERGIAS. Disponível em <<https://estadovibracional.com/2013/02/23/kirliangrafia-e-bioenergias/>>. Acesso em 29 ago 2016.

KOBAYASHI, M. et al. In vivo imaging of spontaneous ultraweak photon emission from a rat’s brain correlated with cerebral energy metabolism and oxidative stress. **Neuroscience Research**, v. 34, p. 103-113, 1999.

KOROTKOV. Art Science Technologies. Disponível em <<http://korotkov.info/index.php?/topic/84-bioelectrography-history/>>. Acesso em 27 ago. 2016a.

KOROTKOV. Human Light Systems. Disponível em: <<http://www.korotkov.eu/scientific-basis-of-gdv-bioelectrography/>>. Acesso em 25 ago. 2016b.

KOROTKOV, K. G. et al. Application of Electrophoton Capture (EPC) analysis based on Gas Discharge Visualization (GDV) technique in Medicine: a systematic review. **The Journal of Alternative and Complementary Medicine**, v. 16, N. 1, p. 13-25, 2010a.

KOROTKOV, K. G. et al. Healing experiments assessed with electrophotonic camera. **Subtle Energies & Energy Medicine**, v. 20, n. 3, p. 33-40, 2010b.

KOROTKOV, K. G.; KOROTKIN, D. A. Concentration dependence of gas discharge around drops of inorganic electrolytes. **Journal of Applied Physics**, v. 89, n. 9, p. 4732-4736, 2001.

KOROTKOV, K. G.; POPECHITELEV, E. P. A method for gas-discharge visualization and an automated system for its implementation. **Biomedical Engineering**, v. 36, n. 1, p. 23-27, 2002.

KOSTYUK, N. et al. Autism from a Biometric Perspective. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 4, p. 1984-1995, 2010.

KUFFEL, E.; ZAENGL, W. S. **High-voltage engineering: fundamentals**. [edition?], New York: Pressman, 1984. 497p.

LEE, T. S.; FUNG, B. K.; MARKUS, D. T. Phenomenon of Skipping Sparks in Discharges on a Dielectric Surface. **IEEE**, v. 32, n. 4, p. 810-815, 1996.

LESKOV et al. The gain of rod phototransduction: reconciliation of biochemical and electrophysiological measurements. **Neuron**, v. 27, n. September, p. 525-537, 2000.

LISOVSKIY, V. A. et al. Validating the Goldstein-Wehner law for the stratified positive column of dc discharge in an undergraduate laboratory. **European Journal of Physics**, v. 33, p. 1537-1545, 2012.

LIU, Y. et al. Detailed characteristics of intermittent current pulses due to positive corona. **Physics of Plasmas**, v. 21, p. 1-11, 2014.

LUCCHETTI, G. et al. Historical and cultural aspects of the pineal gland: comparison between the theories provided by Spiritism in the 1940s and the current scientific evidence. **Neuroendocrinology Letters**, v. 34, n. 8, p. 745-755, 2013.

MAGLARAS, A.; TOPALIS, F. V. Influence of ground and corona currents on dielectric behavior of small air gaps. **IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 16, n. 01, p. 32-41, 2009.

MARKUS, D. T.; LEE, T. S. A method of direct corona imaging on a dielectric transparency. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 32, n. 4, p. 832-836, 1996.

MERIDIANS CONDUCT LIGHT. Disponível em <<http://www.photonstimulator.com/Article%20Russian.htm>>. Acesso em 10 dez. 2016.

MERRILL, F. H. HIPPEL, A. V. The Atomphysical Interpretation of Lichtenberg Figures and Their Application to the Study of Gas Discharge Phenomena. **Journal of Applied Physics**, v. 10, n. December, p. 873-887, 1939.

MILHOMENS, N. **Fotos kirlian:** a comprovação científica. [Curitiba]: Newton Milhomens, [2000?]. 147p.

MILLER, N. A.; OWEN, F. N. The radio galaxy populations of nearby northern Abell clusters. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 134, n. 2, p. 355-383, 2001.

MOURA, G. C. **Protótipo de software para o diagnóstico de aspectos psicológicos baseado nas fotos Kirlian.** 2000. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências da Computação), Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2000.

NUTZMAN, P. et al. Precise estimates of the physical parameters for the exoplanet system HD 17156 enabled by *Hubble Space Telescope* fine guidance sensor transit and asteroseismic observation. **The Astrophysical Journal**, v. 726, n. 3, 8 p., 2011.

OLIVEIRA, M. J. **Planck e a emergência da quantização da energia.** 2006. Palestra (PDF da apresentação em .ppt). Disponível em: fig.if.usp.br/~oliveira/palestras.html. Acesso em 11/02/2017.

OLIVEIRA, S. F. **Estudo da estrutura da glândula pineal humana empregando métodos de microscopia de luz, microscopia eletrônica de varredura, microscopia de varredura por espectrometria de raio-x e difração de raio-x.** 1998. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biomédicas) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OSTRander, S.; SCHROEDER, L. **Psychic Discoveries Behind The Iron Curtain.** Prefácio de Ivan T. Sanderson. [city?]: [editora?], [1970?]. 674p.

PAIVA, E. **Fotografia Kirlian como técnica auxiliar na pesquisa científica espírita.** 2010. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Teologia Espírita), Faculdade Doutor Leocádio José Correia, Curitiba, 2010.

PEKAREK, L. Ionization waves (striations) in a discharge plasma. **Soviet Physics**, v. 11, n. 2, p. 188-208, 1968.

PIRES, J. H. **Agonia das Religiões.** São Paulo: Paidéia LTDA, 1989 [1976], 3ed.. 59p.

PIRES, J. H. **Parapsicologia Hoje e Amanhã**. São Paulo: Edicel, 19__ [1970], 8ed., 104?p (PDF).

POLUSHIN, J. et al. Monitoring energy levels during treatment with GDV technique. **Illness to Wellness**, v. 2, n. 5, p. 5-15, 2009.

POPP, F. A., et al. Biophoton emission: new evidence for coherence and DNA as source. **Cell Biophysics**, v. 6, p. 33-52, 1984.

QUIJANO-KRUGER, F. G.; CAMARA, F. L. A. Avaliação da agricultura biodinâmica por meio da bioeletrografia: estudo de caso. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3?, n. 1?, p. 42-48, 2008.

ROSCH, P. J. (Ed.). **Bioelectromagnetic and subtle energy medicine**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015, 641 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=yajNBQAAQBAJ&pg>>. Acesso em 09 dez. 2016.

SCALZO, R. et al. A search for new candidate super-Chandrasekhar-mass type Ia supernovae in the nearby supernova factory data set. **The Astrophysical Journal**, v. 757, n. 12, 25 p., 2012.

SCHWABL, H.; KLIMA, H. Spontaneous ultraweak photon emission from biological systems and the endogenous light field. [200_].

SEMM, P. SCHNEIDER, T. VOLLRATH, L. Effects of an Earth-strength magnetic field on electrical activity of pineal cells. **Nature**, v. 288, p. 607-608, 1980.

STAACK, D. et al. Characterization of a dc atmospheric pressure normal glow discharge. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 14, n. October, p. 700-711, 2005.

STAACK, D. et al. DC normal glow discharges in atmospheric pressure atomic and molecular gases. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 17, n. April, 13 p., 2008.

STOCKMAN, A., SHARPE, L. T. Cone spectral sensitivities and color matching. p. 53-87, [2006a?].

STOCKMAN, A.; SHARPE, L. T. Into the twilight zone: the complexities of mesopic vision and luminous efficiency. **Ophthal. Physiol. Opt.**, v. 26, n. 3, p. 225-239, 2006b.

STOCKMAN, A. et al. The dependence of luminous efficiency on chromatic adaption. **Journal of vision**, v. 8, n. 16, 1-26, 2008.

TAHA, M. et al. Use of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy for rapid and accurate identification of Yeasts isolated from human and animals. **International Journal of Veterinary Science and Medicine**, v. 1, n. June, p. 15-20, 2013.

TESLA UNIVERSE. Disponível em <<http://www.teslauniverse.com/nikola-tesla/documents>>. Acesso em 28 ago 2016.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for Scientists and Engineers**: with modern physics. 6th ed. New York. W. H. Freeman and Company, 2008. 1580?p.

UFRGS, Física Moderna. A Descoberta dos Raios-X. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html>. Acesso em 29 Jun. 2017.

VEGA et al. Design and construction of a corona charged high power impulse generator. **IEEE**, v. ?, n. ?, p. 1261-1265, 2009.

WHAT ARE LICHTENBERG FIGURES, AND HOW DO WE MAKE THEM?. Disponível em <<http://www.capturedlightning.com/frames/lichtenbergs.html#What>>. Acesso em 16 set 2016.

WIJK, E. et al. Imaging of ultra-weak photon emission in a rheumatoid arthritis mouse model. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, p. 1-6, 2013.

XAVIER, F. C.; VIEIRA, W. **Mecanismos da Mediunidade**: ditado pelo Espírito André Luiz. Rio de Janeiro: Federação Espírita Brasileira, 2010 (1^a ed. especial), 200 p.

YAKOVLEVA, E. G. et al. Engineering approach to identifying patients with colon tumors on the basis of electrophotonic imaging technique data. **The Open Biomedical Engineering Journal**, v. 10, n. [?], p. 72-80, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **University Physics**: with Modern Physics. 13th ed. Pearson Education, Inc. 2012. 1598 p.

ZALTRÃO, C. J. S. **Resgate da memória científica nacional**: a obra do padre Roberto Landell de Moura. 2006. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Gestão da Informação) – Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

APÊNDICE A – EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA BIOELETROGRAFIA

De forma sucinta, o desenvolvimento da técnica bioeletrográfica passou por três fases:

- i. Séculos XVIII e XIX: descoberta isolada de efeitos independentes que futuramente comporiam a técnica bioeletrográfica;
- ii. Fim do século XIX e início do XX: união das diferentes áreas (descargas elétricas, registro da ruptura dielétrica e associação com estados de saúde) em uma única frente de pesquisa, informalmente criando a técnica bioeletrográfica;
- iii. A partir dos anos 1970: reprodução sistemática dos experimentos, explicações científicas sobre alguns efeitos envolvidos e contribuições por diferentes grupos de pesquisadores.

A.1 DESCOBERTAS INICIAIS

Indiretamente, as primeiras colaborações específicas remontam às pesquisas de George C. Lichtenberg, no século XVIII. Submetendo um material isolante coberto por resina em pó a uma alta tensão gerada por um eletróforo, Lichtenberg observou que o pó rearranja-se em padrões arborescentes (MERRILL; HIPPELL, 1939). Registrhou-os, pressionando um papel adesivo contra a superfície do isolante, constituindo o que tornar-se-ia a base da xerografia moderna (WHAT, 2016). Merrill e Hippel (1939) complementam:

A partir dessa descoberta de 1777, as figuras de Lichtenberg tem atraído o interesse de físicos, não somente porque a variedade de suas formas oferece um dos mais belos espetáculos na ciência, mas porque **suas características revelam novos aspectos de descargas em gases**. A **velocidade de propagação das figuras dá informação do mecanismo de ruptura e permite a medição de intervalos de tempo muito curtos**. **Suas extensões e formas podem ser usadas para gravar a magnitude e polaridade da tensão transiente aplicada** (MERRILL; HIPPELL, 1939, p. 873, tradução nossa, grifo nosso).

Na Figura 90 há o formato de descargas positivas e negativas para 4 valores diferentes de tensão. O padrão da ruptura dielétrica por uma alta tensão positiva é o mais familiar.

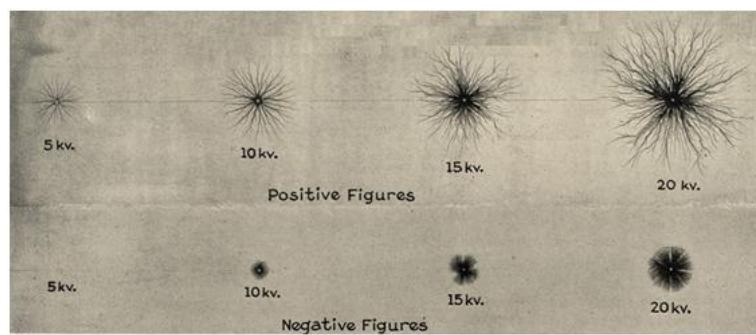


Figura 90 Formato da ruptura dielétrica para diferentes valores de tensão positivas e negativas. Através de uma análise do formato e do diâmetro da figura pode-se deduzir a intensidade e a polaridade da tensão (MERRILL; HIPPELL, 1939).

Fonte: <<http://www.capturedlightning.com/frames/lichenbergs.html#What>>. acesso em 16/09/2016.

No fim do século XIX, Nikola Tesla construiu um transformador ressonante com núcleo de ar¹⁰⁴ capaz de gerar pulsos de muito alta tensão em altas frequências (ver Figura 91) (TESLA, 2016). Pesquisando sobre a transmissão de energia elétrica pelo ar, notou que um halo violáceo aparecia em torno de objetos atingidos pelas descargas, que atualmente é chamado de halo ou descarga corona (GADSBY, 1993).

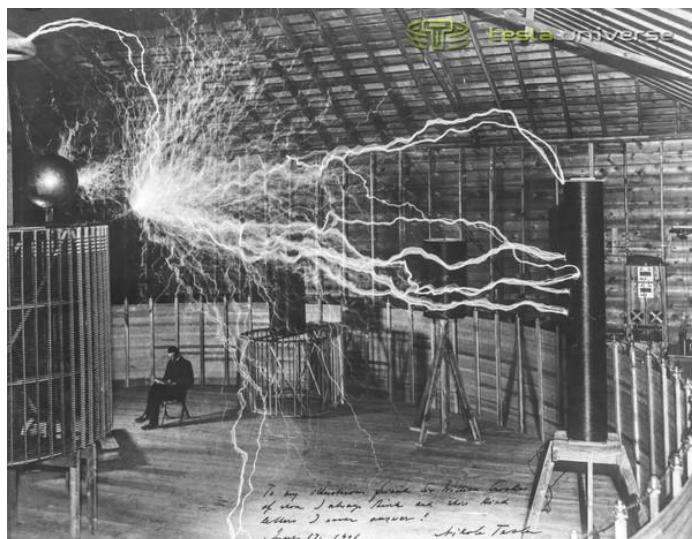


Figura 91 Fotografia de uma grande bobina de Tesla em operação feita com dupla exposição para o aparecimento de Tesla, sentado ao fundo. Fonte: <<http://www.teslauniverse.com/images/nikola-tesla-seated-inside-his-colorado-springs-oscillator>>. Acesso em 25 ago. 2016.

Na mesma época, William Crookes, aperfeiçoando o vácuo nos tubos de Geissler (que produzia descargas luminosas, semelhantes às da subseção 3.4.2) descobria um novo fenômeno em descargas em gás. A baixíssimas pressões e intenso campo elétrico, a descarga luminosa no ânodo e no cátodo não acontecia, mas notou-se que um feixe saía do cátodo e atingia a parede do tubo atrás do ânodo, causando luminescência¹⁰⁵. O feixe ficou conhecido como raios catódicos e somente após as experiências de Jean Perrin e de J. J. Thomson

¹⁰⁴ Atualmente conhecido como bobina de Tesla. Modelos atuais, compactos, são capazes de gerar tensão suficiente para serem usadas como fonte de alta tensão em um equipamento bioeletrográfico.

¹⁰⁵ Este aparato ficou conhecido como tubo ou ampola de Crookes.

descobriu-se que tais raios eram um feixe de elétrons¹⁰⁶ (E-FÍSICA, 2017; UFRGS, 2017; XAVIER; VIEIRA, 2010). Os poucos elétrons livres no gás¹⁰⁷ tinham caminho livre médio muito maior, adquirindo energia cinética mais alta e concentrando a troca de energia com o ânodo e com a parede do tubo, atrás do ânodo.

Ainda no fim do século XIX, Wilhelm C. Roentgen, usando um tubo de Crookes, descobriu outro tipo de radiação, penetrante no corpo e capaz de sensibilizar chapas fotográficas¹⁰⁸ (ver Figura 92 até Figura 94), produzir fluorescência em materiais e ser detectada a vários metros do tubo¹⁰⁹.



Figura 92 Primeira radiografia (22/12/1895) - tirada por Wilhelm C. Roentgen, da mão de sua esposa, Berta Roentgen. Um anel, no dedo anular, sobressai-se na imagem da estrutura óssea. Fonte: CHÉROUX (2003, p. 141).

¹⁰⁶ J. J. Thomson descobriu que tais raios eram desviados por campos magnéticos, mostrando que eram partículas com carga elétrica negativa. Observou também que eram independentes do gás ou eletrodos usados, mostrando que eram partículas comuns à todos os átomos, nomeando-lhes elétrons, uma partícula subatômica.

¹⁰⁷ Os tubos de Crookes são tubos de baixa pressão com cátodo frio, portanto os elétrons acelerados são principalmente os elétrons livres do gás no interior. Em vácuos muito intensos, o efeito desaparece, pois não há quantidade significativa de elétrons livres (nem átomos) no gás. Em tubos com cátodo quente, os elétrons vêm da emissão termiônica do cátodo, persistindo mesmo em vácuos muito intensos, tornando-se inclusive, mais controláveis que as descargas no tubo de Crookes.

¹⁰⁸ Os haletos de prata são os compostos fotossensíveis de um papel fotográfico antigo. São mais sensíveis a altas frequências, a partir do azul. Para reagirem a fôtons menos energéticos (como verde e vermelho) eram misturados a outras substâncias, que liberavam fotoelétrons nesta frequência e que, por sua vez, ionizavam os haletos.

¹⁰⁹ Lenard também pesquisou efeitos do tubo de Crookes, fazendo-lhe um pequeno orifício no ânodo para detectar raios catódicos que atravessassem o tubo, podendo detectá-los a (apenas) alguns centímetros de distância. Por outro lado, Roentgen observou que os raios-X causavam fluorescência em uma placa com platinocianeto de bário, que distava mais de um metro do tubo, mostrando que era de natureza diferente dos raios catódicos.

Roentgen analisa o impacto dos raios catódicos no ânodo, onde notou que havia emissão de uma radiação diferente, desconhecida, nomeando-a raio-X¹¹⁰ (CHÉROUX, 2003; E-FÍSICA, 2017; UFRGS, 2017; XAVIER; VIEIRA, 2010).

Mas, depois dele [Crookes], aparece Roentgen, que lhe retoma as investigações, e, projetando os raios catódicos sobre tela metálica, **colocou a própria mão entre o tubo e pequena chapa recamada de substância fluorescente, observando que os ossos se destacavam, em cor escura¹¹¹, na carne que se fizera transparente.** (XAVIER; VIEIRA, 2010 [1959], p. 30, grifo nosso).

Após as pesquisas de Lichtenberg, Tesla, Crookes e Roentgen em altas tensões e descargas em gases, há a contribuição de outros pesquisadores, como Hippolyte Baraduc, Louis Darget e Jacob Narkiewicz¹¹² buscando correlações entre efeitos eletromagnéticos, luminescentes e a análise de estados sutis do ser humano.

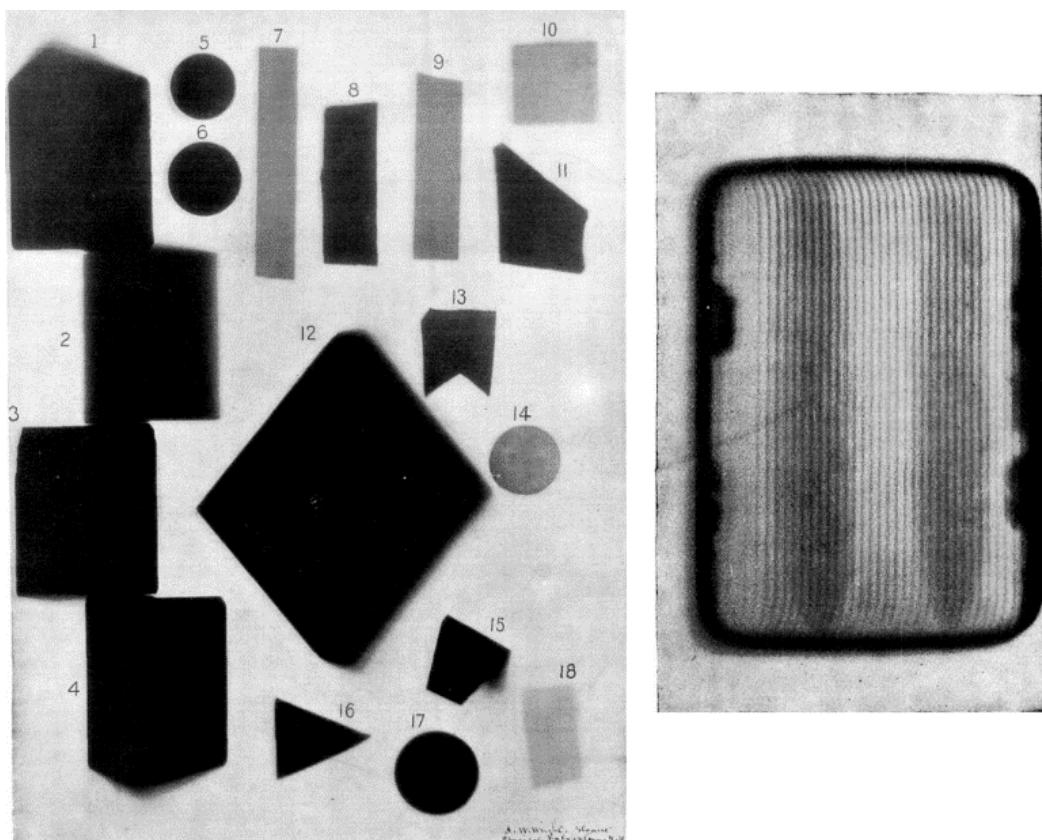


Figura 93 Imagens do século XIX, obtidas usando raio-X. À esquerda, diversos objetos cotidianos (no trabalho original cada objeto está especificado); à direita uma caixa com dois charutos dentro. Como o aparato não era bem controlado, havia a produção de raio-X de várias frequências e sem muito foco. Fonte: <www.gutenberg.org/files/14663/14663-h/14663-h.htm#>. Acesso em 20 de Junho de 2017.

¹¹⁰ Sua descoberta e estudos sobre as propriedades desta radiação foram de importância imediata na medicina. Uma fotografia utilizando os raios-X ou raios Roentgen, permitia análises ósseas sem incisões, assim como localizar metais ou balas dentro do corpo, antes de uma cirurgia de retirada. Todavia, os efeitos prejudiciais desta radiação energética ainda não eram conhecidos, sendo comum exposições de vários minutos para se obter uma boa fotografia e relatos de queimaduras ou deformações retardadas nos usuários.

¹¹¹ Onde os fôtons de raio-X não sensibilizavam a camada fluorescente.

¹¹² Consta como Jacob Iodko Narkievitch, em Gadsby (1993); J. J. Narkievitch-Jodko, em Milhomens (2000); **Jacob von Narkiewicz Jodko, em Chéroux (2003)**; Jodko Narkovitz em Paiva (2010); Jacob Jodko-Narkiewicz, em Ciesielska (2009); J. J. Narkievitch-Jodko e Jacob Narkevich-Yodko, ambos em Korotkov (2016a).

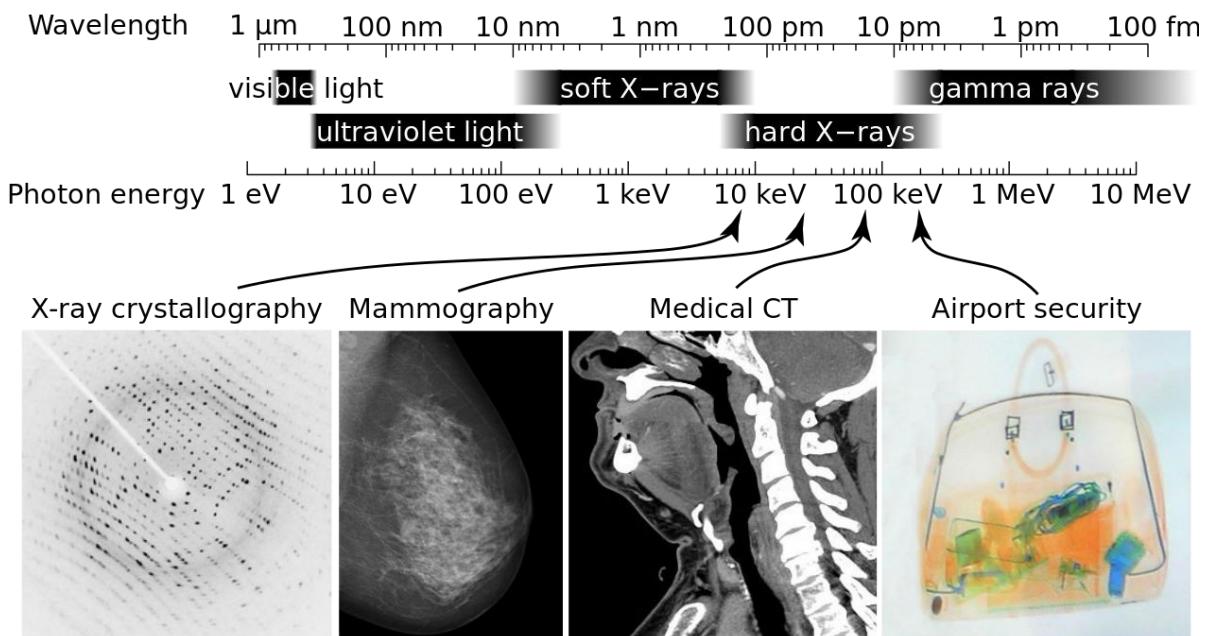


Figura 94 Imagens modernas utilizando raio-X. Atualmente tem-se mais conhecimento sobre o espectro de absorção de diferentes materiais, melhorando a qualidade das fotografias e permitindo transparência seletiva. Fonte: <commons.m.wikimedia.org/wiki/File:X-ray_application.svg>. Acesso em 20 de Junho de 2017.

A.2 O INÍCIO DE UMA NOVA ÁREA DE PESQUISA

Baraduc e Darget buscaram aplicar as descobertas de Crookes e Roentgen para fotografar também os pensamentos, ou imagens mentais, tendo as emissões cerebrais como fonte de radiação que sensibilizaria o papel fotográfico. Embora obtivessem imagens impressionantes, faltaram-lhe, todavia, o critério científico em seus experimentos, isolando outras possíveis causas¹¹³ das imagens antes de concluir-las como geradas pela força psíquica¹¹⁴.

¹¹³ Por exemplo, isolando a radiação infravermelha que a mão ou a testa emitia, que, em contato com o papel fotográfico, poderia sensibilizá-lo ou mesmo a presença, não rara, de elementos radioativos nos laboratórios (o próprio platinocianeto de bário continha substâncias radioativas). Faltou-lhes controlar também o processo de revelação das imagens, ajustando a concentração do agente redutor dos íons de prata e o tempo de ação. Outros pesquisadores analisaram as imagens de Baraduc e Darget, encontrando estas explicações e comprovando-as com experimentos de controle. Não fizeram, porém, outros testes, isolando estas causas.

¹¹⁴ Na França, como em toda a Europa, as pesquisas e discussões sobre forças vitais, psíquicas ou espirituais eram populares à época. Tal força foi chamada de *spiritus subtilissimus* por Isaac Newton, fluido magnético por Franz Anton Mesmer, fluido vital por Allan Kardec, emanação ódica por Reichenbach, força psíquica por William Crookes, ectoplasma por Charles Richet, e é conhecida por Ch'i na cultura chinesa e *Prana* na tradição Hindu.

Por outro lado, Narkievicz buscou fotografar o fluido vital inserindo a própria mão e um filme fotográfico diretamente entre os eletrodos de um tubo de Crookes excitados por uma bobina de Ruhmkorff¹¹⁵, criando a fotografia elétrica¹¹⁶ (ver Figura 95) (CHÉROUX, 2003; COUTINHO, 1990; MILHOMENS, 2000). Este método ficou conhecido posteriormente como efluviografia e é o primeiro registro encontrado tentando vincular imagens em alta tensão à análise de informações sutis¹¹⁷ do estado de um organismo (GADSBY, 1993).



Figura 95 “efluvíos de uma mão eletrificada colocada sobre uma chapa fotográfica” (Chéroux, 2003, p. 147, tradução nossa), tirada por Jacob Narkievicz, utilizando uma bobina de alta tensão. Fonte: Chéroux (2003, p. 147).

Ressalta-lhe a intenção e tentativa, mas não o sucesso no empreendimento, visto que o registro obtido é explicado pela ruptura dielétrica, da mesma forma que nas imagens Kirlian. Em Chéroux (2003), há o panorama geral do assunto à época de Narkievicz, Darget e Baraduc:

Na França, para fotografar seus pensamentos, Dr. Hippolyte Baraduc, um especialista em doenças nervosas, e Louis Darget, desenvolveram um pequeno aparelho: um radiógrafo portátil. [...] a placa sensível é colocada na superfície da área onde o operador quer visualizar o interior. Como radiógrafos, que colocam a placa na mão para fotografar as falanges, **Baraduc e Darget consideram**, com a mais simples evidencia, **que é suficiente coloca-la na testa para fotografar o pensamento**. Para Darget, “o pensamento é uma força radiante, criativa, quase

¹¹⁵ Semelhante à bobina de ignição automotiva, utilizada neste trabalho e detalhada no capítulo 4.

¹¹⁶ Por empregar alta tensão como estímulo luminescente primário, ao invés da reflexão da luz ambiente, usada nas fotografias comuns.

¹¹⁷ Não anatômicas ou estruturais.

material. [...] Quando a alma humana emite um pensamento, isto faz o cérebro vibrar, faz o fósforo contido nele irradiar [...]. Diferente de Baraduc, que não produziu mais que vagos turbilhões, manchas e nuvens, **Darget obtém formas distintas e, às vezes, até figurativas.** [...].

É também sobre o modelo operacional da radiografia que eles [Baraduc e Darget] tentam fotografar o fluido vital [...]. **Em primeiro lugar, é o próprio corpo do operador que serve como o tubo de Crookes, fornecendo a radiação catódica para essas fotografias.** Então, Jacob von Narkiewicz Jodko consegue a imagem de seu fluido vital, colocando uma mão na bobina geradora e a outra na placa sensível. O dispositivo radiográfico é constantemente revisado e corrigido e logo é retirado outro componente. Após [a retirada do] tubo de Crookes, é a **bobina elétrica que é suprimida, pois a energia do médium deve ser suficiente para não se usar eletricidade.** Agora é em um simples aparelho, **colocando a palma da mão ou as pontas dos dedos na placa, que Hippolyte Baraduc, Louis Darget, Adrien Majewski [...], e muitos outros obtém essas imagens** que Albert de Rochas ainda insiste em chamar de “radiografias”. Mas a referência ao padrão radiográfico estende bem além do dispositivo técnico. **É o mesmo desejo de explorar a experiência cognitiva que se relacionam fotografias do fluido vital àquelas produzidas por raios-X: este é, naturalmente [...] tornar visível o interior do ser, mas é especialmente importante utilizar essas imagens para diagnóstico.** O equilíbrio psíquico corresponde ao equilíbrio físico que gera os raios-X, tornando possível a fotografia dos fluidos. “O efluído não emanará da mesma maneira de um organismo mórbido e de um organismo saudável; o prejuízo funcional do dispositivo afeta o regime de fluxo. Se esta descoberta, que está apenas no estado embrionário, for confirmada, será uma revolução radical na ciência do diagnóstico”, escreve Marius Descrepe em 1896. (CHÉROUX 2003, p. 144, 146 e 150, tradução nossa, grifo nosso).

No Brasil, de maneira independente, o padre e engenheiro Roberto Landell de Moura também desenvolveu a fotografia elétrica (FORNARI, 1984; MILHOMENS, 2000). Landell esteve entre os pioneiros no estudo e transmissão sem fio de sinais de voz por longas distâncias (BONILHA, 2010; FORNARI, 1984; ZALTRÃO, 2006). No início do século XX, reutilizando a bobina de alta tensão de seus equipamentos radiotransmissores, fez suas primeiras contribuições à bioeletrografia. Segundo Fornari (1984), nas anotações do “Caderno A” de Landell de Moura consta resultados que este obteve pesquisando o que chamou de *Perianto*¹¹⁸:

1 – **Todo corpo humano está como que envolvido de um elemento de forma vaporosa, mais ou menos densa, segundo a natureza ou o estado do indivíduo ou ambiente em que ele se acha.** [...]

5 – O perianto é por si invisível; mas, por intermediário de **certas luzes**¹¹⁹ [alta tensão gerada por uma bobina de alta frequência], **pode tornar-se visível, e até**

¹¹⁸ Sua descrição do *Perianto* assemelha-se à dos gases e vapores que envolvem ou são exalados por um organismo metabolizante, que hoje considera-se como a bioatmosfera ionizável pela bioeletrografia. A intenção de Landell, todavia, não parece ser esta, mas, de maneira confusa, contrapor ou dar outra explicação à hipótese de Kardec (1857 – questões 60-67, 70, 82, 93-95) sobre um envoltório semi-material, chamado Perispírito (Fornari, 1984).

¹¹⁹ Como consta em Fornari (1984, p. 97), Landell utilizava a expressão *certas luzes* ou *luz especial* para referir-se à alta tensão gerada por uma bobina de Ruhmkorff ou, em suas palavras, à “[...] **fonte luminosa** empregada – não: uma lâmpada de arco, e sim: uma lâmpada especial [...] funcionando com vapor de mercúrio dentro do **campo gerado por uma bobina de alta frequência**” (grifo nosso). Em outro trecho, Fornari (1984) reproduz os pedidos de patentes que Landell faz, constando: “[...] 4º - Um telefone sem fio, compreendendo uma **fonte luminosa capaz de produzir raios actínicos, outra fonte para gerar raios catódicos**, justamente na passagem dos ditos raios actínicos, meios para produzir sons vocais na passagem dos ditos raios catódicos, e um

mesmo ser fotografado, se usarmos ou intercalarmos entre o corpo, cujo perianto estudamos, e a luz especial [alta tensão gerada por uma bobina de alta frequência], uma plancha ou papel apropriado.

6 – Um pequeno animal, preferivelmente de pelo curto, posto nestas circunstâncias e dentro de um tubo apropriado, se mediante uma **máquina pneumática** a mercúrio for se fazendo pouco a pouco o vácuo, ver-se-á, quando o animal permanecer quieto, **em estado de agonia, que na plancha se desenhará, sob forma vaporosa, a figura do animal**¹²⁰. Ver-se-á mais que, ao expirar o mesmo essa forma elevar-se-á na plancha.

7 – Poder-se-á ver também diretamente quando, mediante certas luzes [alta tensão gerada por uma bobina de alta frequência], se puder conseguir o fenômeno da interferência dos raios. E há casos em que, quando a condensação se torna bem densa, com certas e determinadas luzes [alta tensão gerada por uma bobina de alta frequência], **removendo o animal, no lugar em que ele se achava permanecerá, por instantes, o seu perianto**¹²¹, formando um duo dele [...]. O que prova que o perianto é devido a uma vibração de um elemento mais sutil que o ar. (FORNARI 1984, p. 127-128, grifo nosso).

Da mesma forma que as pesquisas anteriores, a de Landell também não tem validade científica, pois os fenômenos que formavam as imagens não eram bem compreendidos à época, limitando-o no controle de seus experimentos. Todavia, seus oito anos de pesquisa foram a razão de seu reconhecimento internacional como o pioneiro na investigação científica sobre bioeletrografia. (BONILHA, 2010; FORNARI, 1984; KOROTKOV, 2016a; MILHOMENS, 2000). Aos pesquisadores pioneiros resta acrescentar o casal Kirlian, que levou os experimentos a novos patamares e conclusões.

Em 1939, em Krasnodar (Rússia), o eletricista Semyon Kirlian iniciou suas pesquisas na área investigando estranhos brilhos vistos em uma máquina de eletroterapia. Após alguns testes¹²² em sua casa notou, juntamente com sua esposa¹²³, que os corpos vivos pareciam¹²⁴ ser mais sensíveis ao método, ou interagiam com algo a mais do que os corpos inorgânicos (OSTRANGER; SCHROEDER, 1970). Todavia, quando abriram seu laboratório para visita e experimentos com outros cientistas (fisiologistas, botânicos, bioquímicos, médicos, etc.), as consequências filosóficas extrapolaram o cognoscível.

dispositivo receptor de luz controlada para reproduzir os sons vocais supramencionados, tal como foi minuciosamente descrito” (FORNARI, 1984, p. 92, grifo nosso).

¹²⁰ Ver Figura 89, na subseção **4.3.4 Teste 4**.

¹²¹ Esta experiência reforça que o *Perianto*, descrito por Landell, deve referir-se à bioatmosfera gasosa, e não à uma contraparte espiritual.

¹²² “[...] ‘Conseguirei fotografar uma coisa dessas?’ conjecturou ele. ‘E se eu pusesse **uma chapa fotográfica entre a pele e o eletrodo?**’ [...] Ligou a máquina. Sentiu uma dor lancinante na mão, debaixo do elétrodo metálico. Era uma **queimadura séria**. Três segundos depois desligou a máquina e foi correndo mergulhar a chapa fotográfica na emulsão. À medida que a fotografia se revelava no quarto escuro, pôde constatar nela uma estranha marca, uma espécie de luminescência nos contornos dos dedos. ‘Estudei a fotografia com sofrimento, emoção e esperança, tudo combinado [...] Teria eu uma descoberta nas mãos? Uma invenção? **Ainda não estava claro’**.” (OSTRANGER; SCHROEDER, 1970, p. 321-322, grifo nosso).

¹²³ Valentina Kirlian, que também participava ativamente das pesquisas (OSTRANGER; SCHROEDER, 1970).

¹²⁴ Não se poderia avaliar a sensibilidade somente pela dinâmica das descargas, pois os objetos escolhidos tinham geometria e composições muito diferentes, que são dois dos fatores mais impactantes na descarga. Isto não era bem compreendido à época.

Um dia, apareceu o Presidente de um dos principais institutos de pesquisa científica. Trazia consigo duas folhas idênticas para serem fotografadas pelos Kirlians com os novos processos. **As duas folhas "gêmeas" pertenciam à mesma espécie de planta, e tinham sido arrancadas exatamente ao mesmo tempo.**

[...] Tiraram fotografias após fotografias, sempre com os mesmos resultados. **A luminescência de uma folha mostrava clarões arredondados, esféricos, simetricamente espalhados por toda a imagem. A segunda folha exibia minúsculas figuras geométricas escuras, reunidas em grupos esparsos, aqui e ali.**

[...] De manhã, cansados e aborrecidos, **mostraram os desconcertantes resultados** ao célebre cientista que os visitava. Para surpresa de ambos, o rosto do homem se iluminou.

- Vocês o conseguiram! - exclamou, emocionado.

Os dois exaustos inventores esqueceram o cansaço ao ouvir as explicações do botânico:

- As duas folhas foram arrancadas da mesma espécie de planta, efetivamente. Mas **uma dessas plantas já tinha sido contaminada com uma moléstia grave**. Vocês o descobriram incontinenti! **Não há absolutamente nada na planta nem na folha que indique que ela foi infectada e não demorará a morrer.** Nenhum teste que se faça agora com a planta e com a folha **mostrará que há nela qualquer coisa errada. Mas com a fotografia de alta frequência, vocês lhe diagnosticaram precocemente a doença!**

Notícias eletrizantes para os Kirlians! O casal estudou cuidadosamente a folha doente. **Nem no momento da sua morte, ocorrida um dia ou dois mais tarde, a folha apresentou qualquer outro sinal externo de enfermidade.** (A planta de que a folha fora arrancada morreu algum tempo depois.) Os Kirlians começaram a compreender que as galáxias de **luzes faiscantes que viam nas fotografias de alta frequência correspondiam a uma espécie de corpo energético equivalente da folha**. Muito antes de manifestar-se no corpo físico da planta, as doenças já existem nesse ‘corpo energético equivalente’ (OSTRANGER, SCHROEDER, 1970, p. 333-334, grifo nosso)¹²⁵.

Outra experiência interessante lhes fortaleceria essa linha de pensamento. Semyon Kirlian foi checar seu aparelho para logo mais apresentá-lo a alguns cientistas. Desta vez, porém, o aparelho não funcionava bem. As imagens de suas mão não saíram como antes.

[...] **Kirlian pôs a mão nos instrumentos e tirou fotografias experimentais [...] Nas fotos só se viam pontos escuros e nuvens.** Freneticamente, Kirlian desmontou tudo. Com as peças do equipamento espalhadas sobre a mesa, inclinou-se para montar de novo um dos instrumentos quando, de repente, **sentiu uma tontura e perdeu os sentidos** (OSTRANGER, SCHROEDER, 1970, p. 336, grifo nosso).

Acamado, sua esposa ficou encarregada de fazer a demonstração para os cientistas e tudo saiu bem. As fotografias estavam ótimas, nítidas e radiantes. Semyon, depois, convalescente, quis analisar novamente a máquina com sua esposa (OSTRANGER; SCHROEDER, 1970).

- Nós nos revezamos em todos os instrumentos. Não havia dúvida nenhuma. **As minhas mãos mostravam um padrão confuso e caótico de energia, borrado e obscurecido. As mãos de Valentina mostravam um padrão nítido do fluxo**

¹²⁵ Ressalta-se que Sheila Ostrander e Lynn Schroeder são duas jornalistas norte-americanas que foram à Rússia coletar informações sobre vários fenômenos psíquicos que lá eram pesquisados (ver seção A.4). Seus relatos devem ser avaliados apenas no sentido histórico e literário, tendo-se cautela com as explicações e conclusões.

energético que se descarregava, com clarões coloridos brilhantes e bem definidos.

O que Semyon vira antes e cuidara ser um defeito da lente ou um erro de focalização do equipamento, era, na realidade, **um prenúncio da própria moléstia, que se manifestava no ‘padrão de energia’ da sua mão antes de manifestar-se fisicamente como um ataque da doença. Agora, a doença aparecia claramente na fotografia de alta frequência como uma confusão total nos clarões de energia.** (OSTRANGER, SCHROEDER, 1970, p. 336-337, grifo nosso).

E, em seguida, identifica-se a linha de pensamento adotada pelo casal:

‘Não há nada de mau que não encerre alguma coisa de bom’, pensou Semyon enquanto jazia na cama, convalescendo. **Talvez lhes fosse possível diagnosticar todos os tipos de doenças muito antes que elas se manifestassem como distúrbios físicos. Talvez o próprio câncer pudesse ser identificado enquanto fosse apenas uma confusão de padrão de energia, antes de ser um tumor no corpo [...]** (OSTRANGER, SCHROEDER, 1970, p. 336-337, grifo nosso).

Assim os Kirlian desdobraram o ramo de interpretação das imagens bioeletrográficas, na tentativa de que esta técnica pudesse ser utilizada como método de diagnóstico simples, rápido e não-invasivo. Para confirmar isso, todavia, faltavam ainda muitas pesquisas, com controle científico e mais embasamento teórico. Na Figura 96 há o esquema básico para gerar uma bioeletrografia, e nas Figura 97 e Figura 98 há fotos Kirlian usuais, obtidas com filme fotográfico colorido.

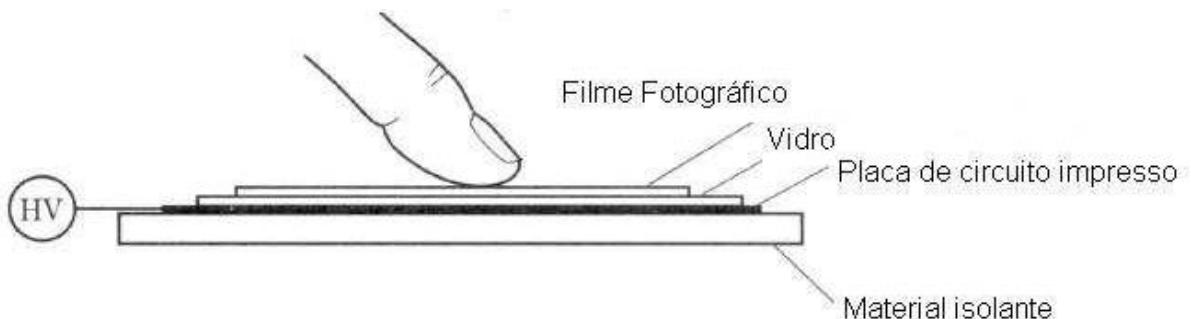


Figura 96 Esquemático para obter-se uma imagem Kirlian. A "Placa de circuito impresso" atua como plano condutor.
Fonte: Paiva (2010, p. 27).

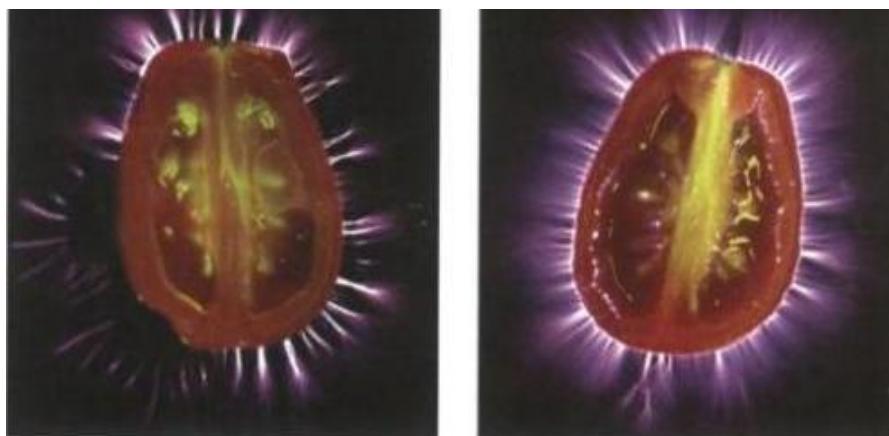


Figura 97 Bioeletrografia de um tomate cereja em duas condições: à esquerda, cozido e à direita, cru. É comum alegações sobre a qualidade "energética" do alimento baseado na intensidade e homogeneidade do halo que se forma.

Fonte: <http://www.atlanteanconspiracy.com>. Acesso em 24 de outubro de 2017.

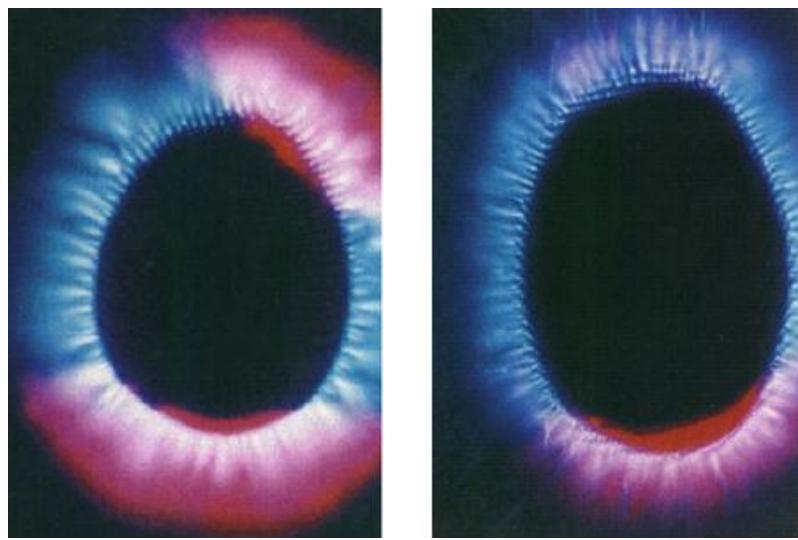


Figura 98 Fotos Kirlian em filmes fotográficos coloridos. Utilizando um método semelhante ao do casal Kirlian, o pesquisador Newton Milhomens registrou estas no fim do século XX. Dentro de sua linha de pesquisa, Milhomens alega que a fotografia da esquerda está associada a um “ego normal (equilibrado)”, enquanto a da direita é legendada como “excesso de azul (apatia)”. Todavia são considerações suas, sem respaldo científico. Fonte: MILHOMENS (2000, p. 103 e 105).

A.3 A BIOELETROGRAFIA E O MÉTODO CIENTÍFICO

Por volta de 1930, Alexander G. Gurwitsch, biólogo russo estudava as emissões espontâneas de fótons em sistemas biológicos (chamando-lhes de biofótons), principalmente no ultravioleta, hipotetizando que tais emissões fariam parte do sistema de regulação¹²⁶ e troca de informações entre sistemas biológicos (KOROTKOV, 2016b). Sua contribuição foi desenvolvida e associada às fotos Kirlian décadas depois, principalmente pela contribuição de Fritz-Albert Popp, Peter Mandel e Konstantin Korotkov.

Na década de 1960 e 1970, o Instituto Brasileiro de Pesquisas Psicobiofísicas (IBPP), liderado à época pelo engenheiro civil Hernani Guimarães Andrade, fez intensas contribuições à bioeletrografia, pelo estudo metódico e estatístico. Da mesma forma fez a Dra. Thelma Moss e sua equipe, na Universidade da Califórnia – Los Angeles (UCLA). De acordo

¹²⁶ O trabalho de Gurwitsch foi muito criticado e tratado como pseudociência. Pesquisas nesta área foram intensificadas a partir dos anos 1980, com resultados promissores. Ver trabalhos atuais mais aprofundados e específicos, em Semm, Schneider e Vollrath (1980), Popp et al. (1984), Campbell e Murphy (1988), Lucchetti et al. (2003), Karbowski (2016).

com Machado, C. S. (KIRLIANGRAFIA, 2016), o IBPP concluiu que vários fatores ligados ao equipamento e ao ambiente poderiam produzir alterações nas imagens¹²⁷:

Dentre outras possibilidades, os defensores da Kirliangrafia afirmavam o seguinte [...]:

- (a) Que as “auras” fotografadas **variam previsivelmente** com os estados fisiológicos e psicológicos;
- (b) Que possibilitam **saber se duas pessoas são “compatíveis”** ou não;
- (c) Que a “aura” de um objeto vivo permanece intacta mesmo que lhe falte (seja retirado) um pedaço (**efeito fantasma**) e
- (d) Que tem importância transcendental com **ferramenta de diagnóstico médico**.

Infelizmente, todas essas afirmações e outras parecidas, **foram desmentidas por pesquisadores de todo mundo, começando pelos do IBPP**. Anos mais tarde, em 1986 entrevistei um dos pesquisadores dessa instituição, Hernani Guimarães Andrade e coletei detalhes sobre os resultados de suas pesquisas.

As pesquisas realizadas com todo o rigor científico demonstraram que inúmeros fatores ambientais como a **temperatura e umidade do ar, fisiológicos (umidade nas mãos, intensidade da pressão do dedo/mão sobre a chapa fotográfica, o fato da pessoa estar descalça ou não)** e **físicos (tempos de exposição, tempo de revelação, frequência e intensidade do campo elétrico, dentre outros)** foram os responsáveis pela maior parte das variações dos halos luminosos fotografados. **Telma Moss, em seu livro O Corpo Elétrico, relata com detalhes sua luta contra essas dificuldades em obter resultados confiáveis com a Kirliangrafia** (KIRLIANGRAFIA, 2016, grifo nosso).

Com tantas variáveis externas ao objeto de estudo, passíveis de alterarem sua imagem bioeletrográfica, a extração de informações confiáveis foi tida como impraticável por muitos anos¹²⁸.

Enquanto os pesquisadores do IBPP e da UCLA contribuíram identificando fatores estocásticos¹²⁹ nas bioeletrografias, outros anteciparam-se em aplicar a técnica em diagnoses (orgânicas e psíquicas), sem um embasamento científico desenvolvido. Pesquisadores como Newton Milhomens (Brasil), Peter Mandel (Alemanha), Paulo de Castro Teixeira (Brasil) e Konstantin Korotkov (Rússia) utilizaram uma abordagem alternativa ao avaliarem as imagens bioeletrografadas. Mesclando o conceito de meridianos acupurtais, que dividem os dedos em regiões e associa-lhes órgãos específicos, interpretaram características das imagens como cor, intensidade ou padrão geométrico afirmando diagnosticar quais órgãos do corpo apresentam algum problema sem, contudo, identificar precisamente qual seria este (INSTITUTE, 2016; KOROTKOV, 2016a; MILHOMENS, 2000).

¹²⁷ Resultados semelhantes são apresentados por Boyers e Tiller (1973) e Ban'kovskiy, Korotkov e Petrov (1986).

¹²⁸ Alguns desses problemas (como pressão, temperatura, umidade, etc.) foram minimizados ou superados com a evolução tecnológica e metodológica. Os problemas inerentes ao uso de filmes fotográficos (tempo de exposição, tempo de revelação, sensibilidade e marca do filme, etc.) foram primeiramente superados quando a equipe do professor Korotkov (Rússia) implementou a bioeletrografia digital, acoplando uma câmera CCD ao equipamento.

¹²⁹ Ver item 3.3 e 3.4.

Engenheiro, ele [Peter Mandel] construiu sua Câmera Kirlian e começou realizar suas pesquisas tirando Fotos Kirlian apenas em preto e branco porque ele postulava que outras cores podem deturpar suas interpretações [das fotos]. Ele só está interessado nas estruturas fractais e formas produzidas pelos sulcos, para diagnosticar vários problemas orgânicos, de acordo com os Meridianos de Acupuntura. Por essa razão, ele precisa tirar Fotos Kirlian de ambas as mãos e pés simultaneamente (KOROTKOV, 2016a, tradução nossa).

Newton Milhomens, professor de física, construiu sua primeira “máquina kirlian” em 1967 e após alguns testes, concluiu que o “halo luminoso que aparecia nas Fotos Kirlian era simplesmente [...] [o] ‘Efeito Corona’” (MILHOMENS, 2000, p. 41).

Mas no ano seguinte um casal de professores, amigos seus, que estavam “muito apaixonados” pediram-lhe “que tirasse algumas fotos Kirlian de ambos, com os dedos juntos [separados por alguns milímetros], enquanto estivessem se beijando [...]” (ver Figura 99). Milhomens supôs que as imagens teriam semelhança com o padrão de linhas de campo repulsivas, entre cargas de mesma polaridade, porém “havia uma espécie de união ou atração entre os Halos Energéticos [sic]” (MILHOMENS, 2000, p. 41).

Proseguiu estudando imagens feitas em outros casais, assim como em pacientes de clínicas médicas e psicológicas procurando correlação entre sentimentos, traumas, doenças e as características das imagens. Afirma ter trabalhado com centenas de casos e conseguindo até 98% acerto nas interpretações, ou seja, 98% de suas interpretações coincidiam com o diagnóstico dos profissionais da área. Investigou também casos de “Curadores Psíquicos” (MILHOMENS, 2000, p. 67) e também notou um efeito (ver Figura 100) que “jamais deveria acontecer [...] de acordo com as Leis da Eletricidade [sic]” (MILHOMENS, 2000, p. 67).

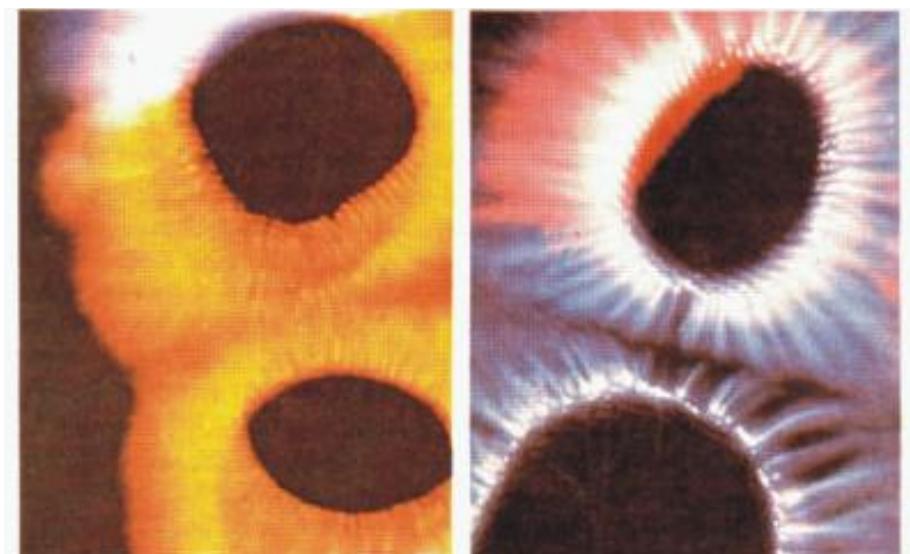


Figura 99 Foto Kirlian registrada por Milhomens (2000) de dois casais distintos: à esquerda estão dedos de um casal “apaixonado”; à direita, de um casal “que se odeia”. Milhomens compara as imagens e afirma que o efeito corona não explica a imagem da esquerda. Hipotetiza que a bioeletrografia também registraria inclinações sentimentais, mas não explica o processo satisfatoriamente. Fonte MILHOMENS (2000, p. 67).

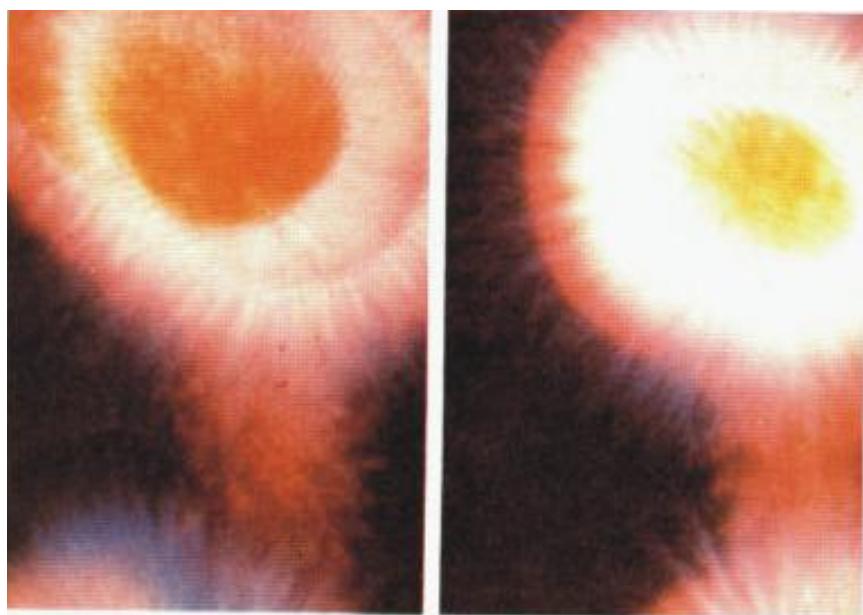


Figura 100 Fotos Kirlian tiradas por Milhomens (2000) intituladas “curadores psíquicos enviando energia para os seus pacientes”. Um “vapor energético” aparece entre os dedos. Milhomens afirma que o efeito corona também não explica imagens assim. Fonte: MILHOMENS (2000, p. 68).

A bioeletrografia atravessou uma fase polêmica entre a década de 1970 e 1990 sendo taxada de misticismo, de pseudociência, e ficou desacreditada no meio científico. As pesquisas relacionadas eram desestimuladas até que, em 1995, a equipe do professor Korotkov conseguiu imagens diretamente no formato digital (MILHOMENS, 2000), acoplando uma câmera CCD (Charge-Coupled Device) ao aparato (KOROTKOV, 2016a). Ao dispensar os filmes fotográficos (e a grande variação estocástica inerente à eles, da variação no formato, distribuição e concentração dos cristais de haleto de prata, etc.), a bioeletrografia retorna ao interesse acadêmico podendo ser submetida a estudos estatísticos. (ATZINGEN, 2013; PAIVA 2010).

A.4 TRABALHOS INFORMAIS (NÃO ACADÊMICOS) MAIS RELEVANTES

São poucos os trabalhos científicos publicados sobre bioeletrografia¹³⁰ antes da década de 1990. O método ainda era pouco controlável e de baixa reproduzibilidade e o tema ainda não tinha abrangência internacional. Por outro lado, encontrou-se vários livros informativos e artigos informais sobre o tema (que não passaram, todavia, pelo crivo acadêmico).

¹³⁰ Não necessariamente referindo-se ao tema por este nome (ver nota 9).

Em 1970, as jornalistas estadunidenses Sheila Ostrander e Lynn Schroeder publicam “**Psychic Discoveries Behind the Iron Curtain**”, divulgando, dentre outros, o trabalho do casal Kirlian, trabalho esse que popularizou o assunto no Ocidente. Em 1973 o psicólogo Stanley Krippner co-edita o livro “**Galaxies of life: the human aura in acupuncture and Kirlian photography**”¹³¹, relatando casos estudados por outros pesquisadores. No ano seguinte, co-edita “**The Kirlian Aura**”¹³², enquanto Thelma Moss, Ph.D. em psicologia, publica nos Estados Unidos “**The Probability of the Impossible: Scientific Discoveries and Exploration in the Psychic World**”¹³³. Ainda na década de 1970, é publicado “**High-Voltage Photography**” de H. S. Darkin, (em 1975); “**Reality Revealed: The Theory of Multidimensional Reality**” de Douglas B. Vogt e Gary Sultan¹³⁴, em 1978; “**Introduction to Electrography: A Handbook for Prospective Researches of the Kirlian Effect in Biomedicine**” de Leonard W. Konikiewicz, em 1979. Thelma Moss, coordenando várias pesquisas, bioeletrografia mais de quinhentos indivíduos, coletando milhares de imagens¹³⁵ e dados para análise. Publica seu segundo livro sobre o assunto em 1979: “**Body Electric: A Personal Journey into the Mysteries of Parapsychological Research, Bioenergy and Kirlian Photography**”.

ATZINGEN (2013, p. 26) sintetiza muito bem o panorama da bioeletrografia para a época¹³⁶:

No início da década de 70, a fotografia kirlian já tinha sido difundida e muitos entusiastas em todo o mundo replicavam os experimentos [...]. Os resultados

¹³¹ Citado por Lee, Fung e Markus (1996).

¹³² Citado por Gadsby (1993).

¹³³ Citado por Paiva (2010).

¹³⁴ Dois pesquisadores observaram um curioso efeito (tanto quanto controverso), que ficou conhecido como “*phantom leaf effect*”. Registraram a imagem bioeletrográfica de uma folha vegetal e então cortaram-lhe um pedaço (retirando-o), fazendo novas imagens. Afirmaram que a folha, nas imagens, conservara traços de seu formato original, como se alguma estrutura mais sutil restasse na folha, sendo capturada pela bioeletrografia. Tal efeito foi pesquisado por outros grupos, inclusive pelo Instituto Brasileiro de Pesquisas Psicobiofísicas (IBPP) de forma bem controlada e sua ocorrência foi desacreditada. No Apêndice B deste trabalho há mais informações sobre o assunto, e uma reprodução e explicação do efeito.

¹³⁵ “Uma das mais extensas investigações foi feita pela Universidade da Califórnia / Los Angeles (UCLA) Centro para Ciências da Saúde, onde Moss e Johnson **tiraram mais de 10.000 fotos Kirlian ‘modificadas’, incluindo as pontas dos dedos de mais de 500 pessoas e mais de 1000 folhas**. Eles reportaram que campos energéticos humanos são **afetados por inúmeros fatores, como ingestão de álcool, prática de exercícios de yoga e hipnose**. Eles confirmaram que as mudanças eram mais dramáticas quando experimentava-se **emoções diferentes** e frequentemente variavam quando o pesquisador e o *sujet* eram de gêneros diferentes [...] Em estudos envolvendo **quatro ‘curadores’, as coronas estavam aptas a serem muito maiores e brilhantes antes da sessão curadora do que durante ou depois da intervenção. Em contraste, a corona de seus pacientes aumentaram bastante** em relação ao estado-base, sugerindo ter havido uma real transferência de energia dos curadores. Diferenças dramáticas na corona **também foram encontradas antes e depois de tratamento acupuntural**. O brilho e claridade da corona foram particularmente proeminentes quando agulhas eram inseridas nos pontos de acupuntura relacionados às reclamações particulares do paciente. Baseado em extensas investigações, os pesquisadores **concluíram que estas mudanças não podiam ser explicadas por alterações na resistência epitelial ou mudanças de temperatura devido ao fluxo sanguíneo vascular periférico.**” (ROSCH, 2015, p. 112, tradução nossa, grifo nosso).

¹³⁶ As referências utilizadas por ATZINGEN (2013) no trecho extraído foram suprimidas para facilitar a leitura.

publicados nas pesquisas iniciais foram de **difícil reprodução e vários pesquisadores chegaram a conclusões diferentes, principalmente nas pesquisas com organismos vivos [...]**.

Devido à baixa reprodutibilidade e característica estocástica dos experimentos, variando de acordo com a pressão do objeto, umidade, temperatura, geometria, atividade iônica e outros parâmetros, a opinião geral no meio científico era a de que as imagens, principalmente as realizadas em humanos nas pontas dos dedos, não continham informações relevantes e que **os efeitos vistos eram apenas flutuações estatísticas [...]**. A técnica caiu em desuso e ficou “mal vista” dentro do círculo dos pesquisadores.

Com o desenvolvimento da tecnologia, principalmente o poder computacional e da digitalização das imagens, **novos experimentos surgiram com alta reprodutibilidade** e a técnica voltou novamente em uso.

As **novas pesquisas mostraram** que de fato, em seres humanos utilizando as fotos dos dedos, **pode-se correlacionar a imagem do efeito corona com uma série de doenças manifestadas em outros locais** teoricamente sem nenhuma relação com os dedos utilizados para a captação das imagens [...]. Além disso, variações dos estados psicológicos também estão diretamente correlacionadas com alterações nas imagens. (ATZINGEN, 2013, p. 26, grifo nosso).

No ano 1980 Gennaro, Guzzon e Marsigli publicam “**Kirlian Photography: Research and Prospects**”. Nesta década os trabalhos estão mais maduros e a concepção científica do fenômeno vai se difundindo entre acadêmicos e leigos. Surgem novas pesquisas autônomas, vulgarizando a construção do equipamento bioeletrográfico e análise das imagens, como a reportagem no Brasil do engenheiro civil Hernani Guimarães Andrade, na Revista Planeta¹³⁷: “**Projeto de construção de uma máquina Kirlian projetada pelos engenheiros Luiz Otávio Saraiva Ferreira e Eduardo Tavares Costa da Unicamp**”, em 1981.

Em 1986, na Alemanha, é publicado o livro: “**Energy Emission Analysis – New Application of Kirlian Photography for Holistic Medicine**”, em que o autor, Peter Mandel, reforça que o exame das imagens Kirlian deveria ser feito conforme os meridianos acupunturais, para que as alterações observadas sejam relacionadas ao respectivo órgão corporal, conforme o mapa de meridianos (INSTITUTE, 2016). Em seguida, Mandel criaria uma nova área de pesquisa: “*Esogetic Colorpuncture*”, um método holístico de cura “direcionado para as origens não-físicas das doenças” (INSTITUTE, 2016, tradução nossa) que trabalha com estímulos de “luz colorida, infravermelho, ultravioleta, ondas cerebrais, sons e cristais” (INSTITUTE, 2016, tradução nossa), podendo ser complementado pela análise de imagens Kirlian do paciente. No site também consta sobre a interação ou condução de luz pelo corpo humano (INSTITUTE, 2016):

O físico russo Dr. Sergei Pankratov [...] demonstrou que a [...] coordenação da luz no corpo humano existe somente ao longo dos meridianos e só pode entrar ou sair

¹³⁷ Citado por Paiva (2010).

do corpo humano pelos conhecidos pontos de acupuntura. Ao mesmo tempo **cientistas no Parisian Necker Institute injetaram um fluido enriquecido com tecnécio radioativo em certos pontos de acupuntura** e foram capazes de fazer sua distribuição no corpo visível usando uma câmera [capturando raios gama do tecnécio radioativo] [...]. **A distribuição do fluido seguiu exatamente os caminhos descritos como meridianos na medicina chinesa** (INSTITUTE, 2016, tradução nossa).

Informações semelhantes constam em MERIDIANS (2016):

Experimentos no Instituto de Medicina Clínica e Experimental em Novosibirk, URSS [...] sob a liderança do professor Kaznachejew fizeram o seguinte: **um feixe de luz foi dirigido [...] em várias partes da pele humana com o propósito de medir a reação da pele à luz visível. [...] Os pesquisadores registraram um sinal [...] onde não havia sido iluminado** (cerca de 10cm distante da área iluminada). [...] A intensidade do sinal luminoso foi medida com uma unidade fotométrica e amplificada por um microscópio de fotoluminescência com um fotomultiplicador.

[...] **Ficou evidente que somente em alguns locais [nos meridianos] [...] da pele [a luz] poderia se propagar bem** (MERIDIANS, 2016, tradução nossa).

Mandel desenvolve uma relação sintomas-cores-efeitos¹³⁸ e também vincula-se ao comércio de sessões de cura, cursos e equipamentos baseados no efeito Kirlian (INSTITUTE, 2016; PAIVA, 2010, p. 32-33).

Em 1987 o professor de física, Newton Milhomens, publica no Brasil o livro “**Fotos Kirlian – Como Interpretar**”. Nele relaciona as cores obtidas no filme fotográfico e o padrão de descarga elétrica com o estado físico e psíquico do *sujet*. Todavia, o próprio autor suspendeu re-impresões do livro, possivelmente após entender melhor a causa das alterações nas cores e formatos das imagens que registrava (MILHOMENS, 2000, p. 68-69), que já haviam sido exploradas por Boyers e Tiller (1973) uma década antes, reforçando o atraso que o problema de nomenclatura pode causar¹³⁹.

John Iovine publica em 1994, nos Estados Unidos, o livro “**Kirlian Photography A Hands-on Guide**”¹⁴⁰, explicando como construir e operar um equipamento bioeletrográfico. Em 2000 Newton Milhomens publica outro livro: “**Fotos Kirlian – a comprovação científica**”. Relata o processo histórico da bioeletrografia, alguns estudos particulares feitos, a nível orgânico e emocional, várias imagens obtidas usando filmes fotográficos e enfatiza

¹³⁸ “Em muitos casos cores tem a mesma indicação no nível psicológico como no somático. Verde, por exemplo, tem efeito desintoxicante [...] estimula secreções e libera espasmos. Psicologicamente está cor é calmante e relaxante. Para Peter Mandel, espírito e corpo são inextricavelmente conectados. Sua visão é que a maioria das queixas físicas tem causa psicossomática. [...] Peter nomeia sua terapia [esogetic colorpuncture] como psicoterapia não-verbal” (INSTITUTE, 2016, tradução nossa).

¹³⁹ Ver nota 9.

¹⁴⁰ Citado por Paiva (2010).

algumas imagens que considera inexplicáveis pelo paradigma bioeletrográfico atual (eletromagnético).

APÊNDICE B – TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA CINÉTICA ENTRE MOLÉCULAS

A temperatura é uma propriedade intrínseca¹⁴¹ que relaciona a energia cinética média armazenada nos graus de liberdade “não congelados”¹⁴² das partículas de um sistema. Relaciona, portanto a energia cinética média translacional, vibracional e rotacional¹⁴³ de cada partícula que o constitui. A distribuição de velocidades nos graus de liberdade clássicos (“não congelados”) obedecem a estatística de Maxwell-Boltzmann¹⁴⁴ (conforme Figura 101), tendo cada um energia média $\frac{k_B T}{2}$ (teorema da equipartição).

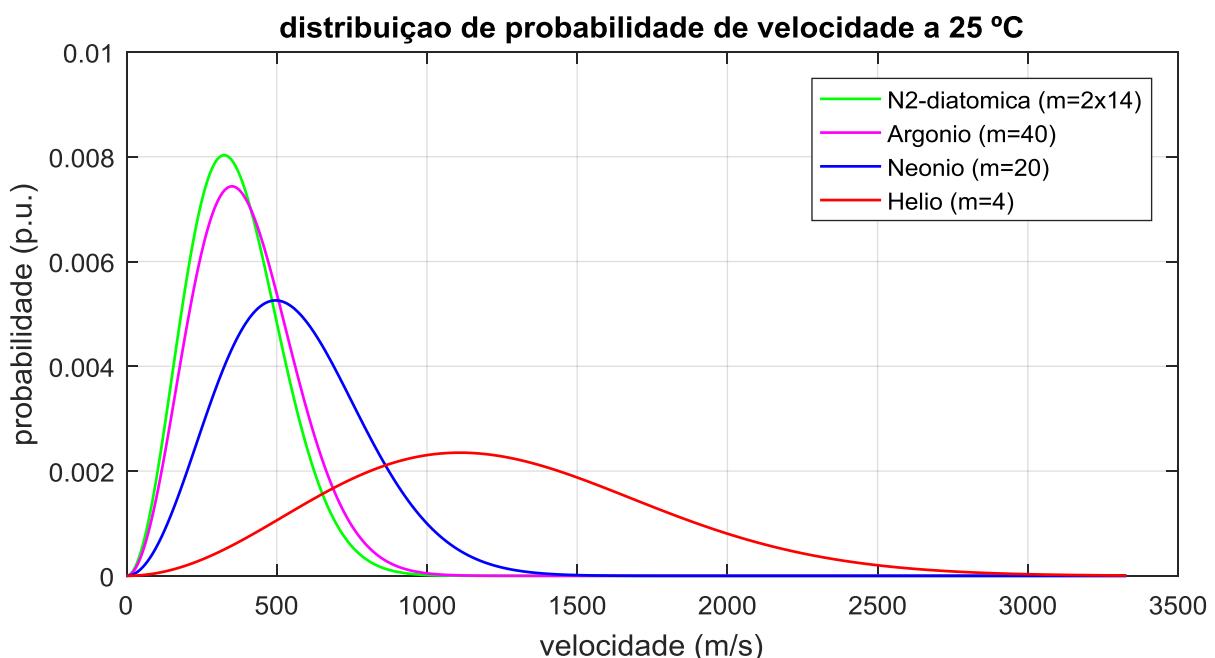


Figura 101 Distribuição de Maxwell-Boltzmann para estimar a distribuição de velocidades de moléculas de quatro gases: Hélio, Neônio, Argônio e Nitrogênio (esta, diatômica, portanto com cinco graus de liberdade – desconsiderando energia cinética armazenada na vibração entre os átomos).

A distribuição de probabilidades da velocidade de cada partícula é dada por:

¹⁴¹ O conceito de temperatura só é válido para sistemas em equilíbrio térmico.

¹⁴² Graus de liberdade não congelados são os modos translacionais, vibracionais e rotacionais que esteja em regime clássico. Mesmo em situações cotidianas, alguns graus de liberdade vibracionais e rotacionais de moléculas podem estar em regimes quânticos. O nível translacional geralmente entra em regime quântico apenas para temperaturas próximas de 0 K, todavia, em cristais à temperaturas ambientes este modo está naturalmente congelado, enquanto o modo vibracional geralmente está em regime clássico.

¹⁴³ Atribuindo-se 3 graus de liberdade para gases (apenas movimentos moleculares translacionais, na direção x, y ou z) tem-se a temperatura cinética, que é o patamar da temperatura termodinâmica. Para gases monoatômicos, estes valores se equalizam.

¹⁴⁴ Válido se o sistema é fechado e está em equilíbrio termodinâmico, se as partículas não estão sujeitas à aceleração, devido à campos externos, processos de difusão, etc. (KUFFEL; ZAENGL, 1984).

$$f(v) = \frac{dN_v}{N} = \frac{4}{v_p \sqrt{\pi}} \left(\frac{v}{v_p}\right)^2 e^{-\left(\frac{v}{v_p}\right)^2} dv \quad (\text{B.1})$$

Desta distribuição, três valores importantes surgem: v_p , a velocidade mais comumente encontrada (v de máxima probabilidade); \bar{v} , o valor esperado (ou velocidade média); e v_{ef} , a velocidade efetiva (ou velocidade quadrática média). Para gases monoatômicos, os três valores se relacionam da seguinte forma:

$$v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}} \quad (\text{B.2})$$

$$\bar{v} = \int_{v=0}^{\infty} v f(v) dv = \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_p \quad (\text{B.3})$$

$$v_{ef} = \sqrt{\int_{v=0}^{\infty} v^2 f(v) dv} = \sqrt{\frac{3}{2}} v_p \quad (\text{B.4})$$

com $0,886\bar{v} = v_p < \bar{v} < v_{ef} = 1,085\bar{v}$.

$\bar{W} = \frac{3}{2} kT$ é a energia cinética média de uma partícula em um sistema tridimensional, que também permite calcular a velocidade efetiva diretamente:

$$\frac{1}{2} m v_{ef}^2 = \frac{3}{2} k_B T \quad (\text{B.5})$$

$$v_{ef} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3}{2} \sqrt{\frac{2k_B T}{m}} \sqrt{\frac{3}{2}} v_p} \quad (\text{B.6})$$

Nos processos de ionização e ruptura dielétrica relevantes para este trabalho, as colisões elétron-molécula tem papel fundamental, em comparação com as colisões molécula-molécula. Resolvendo o problema de colisão entre duas partículas, com transferência de energia e momento, tem-se uma primeira aproximação para a transferência, por colisão, de energia de uma partícula para outra. Para duas partículas, seja M a massa da que está em repouso (em um local tomado como referencial) e seja m a massa da que tem velocidade v_0 antes da colisão e v_1 , após, com ângulo de espalhamento α . Tem-se:

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{m}{m+M} \cos \alpha \pm \sqrt{\frac{m^2}{(m+M)^2} \cos^2 \alpha - \frac{m-M}{m+M}} \quad (\text{B.7})$$

A máxima transferência de energia cinética para energia potencial (que superará ou não a energia de ligação de um elétron molecular) se dá em razão inversa das massas e caracteriza uma colisão com coeficiente de restituição próximo de zero, resultando em:

$$v_1 = \frac{m}{m+M} v_0 \quad (\text{B.8})$$

e sendo W_p , o incremento de energia potencial na partícula de massa M , terá valor máximo de:

$$W_{pmax} = \frac{M}{m+M} \frac{mv_0^2}{2} \quad (\text{B.9})$$

No caso de m ser a massa de um elétron e M a de um átomo neutro, este receberá quase toda a energia cinética do elétron em forma de energia potencial:

$$W_{pmax} \cong \frac{1}{2} mv_0^2 \quad (\text{B.10})$$

favorecendo ionizações e excitações, sobrepondo o efeito da colisão entre íons moleculares e átomos neutros, quando W_{pmax} é cerca de metade da energia cinética. Para moléculas poderem transferir, no mínimo, a energia de ionização, deveriam acelerar adquirindo no mínimo, cineticamente, o dobro desse valor, mostrando que íons grandes precisam acelerar por muito mais tempo (já que a aceleração do elétron, mais leve, é bem mais rápida), sem colidirem, para conseguirem energia suficiente para ionizar uma outra molécula por colisão¹⁴⁵.

Analizando-se a velocidade adquirida por um elétron e um cátion acelerados por um campo elétrico uniforme, desconsiderando efeitos de colisão ou outras interações, tem-se a seguinte análise simplificada ($q = \pm 1e$):

$$F = ma = Eq \quad (\text{B.11})$$

$$v = at \quad (\text{B.12})$$

$$v_{e-} = -\frac{eEt_{e-}}{m_{e-}} \Rightarrow K_{e-} = \frac{e^2 E^2 t_{e-}^2}{2m_{e-}} \quad (\text{B.13})$$

$$v_{c+} = \frac{eEt_{c+}}{M_{c+}} \Rightarrow K_{c+} = \frac{e^2 E^2 t_{c+}^2}{2M_{c+}} \quad (\text{B.14})$$

Segundo a equação (B.9), para terem um mesmo potencial de ionização, $K_{c+} \cong 2K_{e-}$. Como $m_{e-} \cong 10^{-5} M_{c+}$, as equações (B.13) e (B.14) resultam em:

$$t_{c+} = \sqrt{\frac{2t_{e-}^2 M_{c+}}{m_{e-}}} \cong 447 t_{e-} \quad (\text{B.15})$$

Portanto o tempo de aceleração do cátion para um potencial de ionização semelhante ao do elétron é duas ordens de grandeza maior que o tempo do elétron, mesmo se o cátion tivesse caminho livre médio igual ao do elétron.

¹⁴⁵ Por isso a cauda de cátions é considerada estacionária na ocorrência da avalanche primária.

Assim as colisões elétron-molécula são as que mais contribuem no processo de ruptura dielétrica em gases. Em se tratando da transferência de energia entre fótons e átomos:

A probabilidade de um fóton ionizar uma molécula de gás é máxima quando $(hv - eVi)$ é pequeno (0.1 – 1 eV). Fotoionização é um processo de ionização secundário e pode ocorrer no mecanismo de ruptura de Townsend e é essencial no mecanismo de ruptura “streamer” e em algumas descargas corona. Se a energia do fóton é menor que eVi, ele ainda pode ser absorvido pelo átomo e leva-lo a um estado de maior energia. Este processo é conhecido como fotoexcitação (KUFFEL; ZAENGL, 1984, p. 319, tradução nossa).

APÊNDICE C – CÓDIGO PARA MATLAB – EMISSÃO ESPECTRAL DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

```

clc
clear all

h=6.626075*10^(-34);           %constante de Planck
c=2.998*10^8;                 %velocidade da luz no vácuo
e=1.60217653*10^(-19);        %carga elétrica elementar

%% comprimento de onda
tam=035;                       %observar da camada 1 até a camada tam
Lmin=390*10^(-9);              %menor comprimento de onda mostrado
Lmax=780*10^(-9);              %guardará freq de transições até tam->n, e a max da
F=ones(tam);                   %energia do estado fundamental do hidrogênio (em
camada                           %EV)
E=13.6;
ev)

for i=1:tam                   %construindo F -> (Ej-Ei)/h
    for j=1:tam-1
        F(i,j)=e*E*(1/i^2-1/(i+j)^2)/h;
    end
    F(i,tam)=e*E*(1/i^2)/h; %Fmax (Einf-Ei)/h = -Ei/h
end
L=c./F;                         %matriz dos respectivos comprimentos de onda

%%
b=1;
for i=1:tam
    for j=1:tam
        if L(i,j)<Lmax
            if L(i,j)>Lmin
                Y(b)=L(i,j);
                b=b+1;
            else
            end
        else
        end
    end
end
size(Y)

for i=2:size(Y,2)               %copiando o vetor para plotar
    Y(i,:)=Y(1,:);
end

figure
plot(Y(:,5),1:max(size(Y)),':k','LineWidth',3)
hold on
plot(Y(:,4),1:max(size(Y)), 'Color', [0.5 0 1], 'LineWidth',3)
plot(Y(:,3),1:max(size(Y)), 'Color', [0.1 0 1], 'LineWidth',3)
plot(Y(:,2),1:max(size(Y)), 'Color', [0 1 1], 'LineWidth',3)
plot(Y(:,1),1:max(size(Y)), 'Color', [0.8 0 0], 'LineWidth',3)
title('linhas do hidrogenio no espectro óptico')

```

```

xlabel('comprimento de onda [x100 nanometros]');

%% comprimento de onda
clear all
clc
h=6.626075*10^(-34);          %constante de Planck
c=2.998*10^8;                 %velocidade da luz no vácuo
e=1.60217653*10^(-19);        %carga elétrica elementar

tam=030;                        %observar da camada 1 até a camada tam
Lmin=2*10^(-6);                 %menor comprimento de onda mostrado
Lmax=5*10^(-6);
F=ones(tam);                   %guardará freq de transições até tam->n, e a max da
                                %camada
E=13.6;                         %energia do estado fundamental do hidrogênio (em
                                %eV)

for i=1:tam                    %construindo F -> (Ej-Ei)/h
    for j=1:tam-1
        F(i,j)=e*E*(1/i^2-1/(i+j)^2)/h;
    end
    F(i,tam)=e*E(1)*(1/i^2)/h; %Fmax (Einf-Ei)/h = -Ei/h
end
L=c./F;                         %matriz dos respectivos comprimentos de onda

%%%
b=1;
for i=1:tam
    for j=1:tam
        if L(i,j)<Lmax
            if L(i,j)>Lmin
                Y(b)=L(i,j);
                b=b+1;
            else
                end
            else
                end
        end
    end
end
size(Y)

%%%
for i=2:size(Y,2)               %copiando o vetor para plotar
    Y(i,:)=Y(1,:);
end

%%%
figure;
plot(Y,1:max(size(Y)), '-k', 'LineWidth', 1);
title('algumas linhas do hidrogenio no IV')
xlabel('comprimento de onda [micrometros]');

```

APÊNDICE D – CÁLCULO DA FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA

Para calcular a tensão gerada em uma bobina de ignição automotiva, pode-se avaliar o fluxo magnético que atravessa o indutor pela lei de Gauss do magnetismo e aplicar a Lei de Faraday:

$$E = -\frac{d\lambda}{dt} \quad (\text{D.1})$$

em que λ é o fluxo concatenado e E é a tensão induzida. O fluxo magnético é função da densidade de fluxo que é proporcional à corrente elétrica. Equacionando para uma corrente no lado de baixa tensão (BT), tem-se:

$$B(r)_{BT} = \mu_0 n_{BT} i_{BT}, \quad r_{AT} < r < r_{BT} \quad (\text{D.2})$$

$$B(r)_{BT} = \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} i_{BT}, \quad r < r_{AT} \quad (\text{D.3})$$

$$B_{AT} = B(r < r_{AT})_{BT} = \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} i_{BT} \quad (\text{D.4})$$

Em que:

- o sub-índice $_{BT}$ e $_{AT}$ referem-se, respectivamente ao lado de BAIXA e ALTA TENSÃO, ou PRIMÁRIO e SECUNDÁRIO;

- $B(r)$ é a densidade de fluxo magnético;
- μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo;
- μ_{Fe} a permeabilidade relativa do núcleo de ferro;
- n é a densidade de espiras do enrolamento, (número de espiras por unidade de comprimento);
- i_{BT} a corrente no indutor primário.

Aplicando-se a Lei de Gauss (TIPLER; MOSCA, 2008), obtém-se o fluxo magnético que atravessa o indutor primário (BT) e secundário (AT):

$$\phi_{AT} = \iint_{A_{AT}} B(r)_{AT} dA \quad (\text{D.5})$$

$$\phi_{AT} = \iint_{A_{AT}} \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} i_{BT} dA = \pi \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} r^2_{AT} i_{BT} \quad (D.6)$$

$$\phi_{BT} = \iint_{A_{BT}} B(r)_{BT} dA \quad (D.7)$$

$$\phi_{BT} = \iint_{A_{BT} - A_{AT}}^{r_{AT} < r < r_{BT}} B(r)_{BT} dA + \iint_{A_{AT}}^{r < r_{AT}} B(r)_{AT} dA \quad (D.8)$$

$$\phi_{BT} = \iint_{A_{BT} - A_{AT}}^{r_{AT} < r < r_{BT}} \mu_0 n_{BT} i_{BT} dA + \phi_{AT} \quad (D.9)$$

$$\phi_{BT} = \mu_0 n_{BT} \pi (r^2_{BT} - r^2_{AT}) i_{BT} + \pi \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} r^2_{AT} i_{BT} \quad (D.10)$$

$$\phi_{BT} = \pi \mu_0 n_{BT} i_{BT} (r^2_{BT} - r^2_{AT} (1 - \mu_{Fe})) \quad (D.11)$$

Em que:

- ϕ o fluxo magnético;
- A a seção transversal do indutor;
- r o raio médio das espiras do indutor.

Para o indutor primário, tem-se:

$$E_{L1} = - \frac{d\lambda_{BT}}{dt} \quad (D.12)$$

$$\lambda_{BT} = n_{BT} l_{BT} \phi_{BT} \quad (D.13)$$

$$\frac{d\lambda_{BT}}{dt} = n_{BT} l_{BT} \mu_0 n_{BT} (A_{BT} - A_{AT} (1 - \mu_{Fe})) \frac{di_{BT}}{dt} \quad (D.14)$$

$$E_{L1} = - \mu_0 n^2_{BT} l_{BT} ((\mu_{Fe} - 1) A_{AT} + A_{BT}) \frac{di_{BT}}{dt} \quad (D.15)$$

Em que:

- l o comprimento do indutor.

Para o indutor secundário:

$$E_{L2} = - \frac{d\lambda_{AT}}{dt} \quad (D.16)$$

$$\lambda_{AT} = n_{AT} l_{AT} \phi_{AT} \quad (D.17)$$

$$\frac{d\lambda_{AT}}{dt} = n_{AT} l_{AT} \mu_{Fe} \mu_0 n_{BT} A_{AT} \frac{di_{BT}}{dt} \quad (D.18)$$

$$E_{L2} = -\mu_{Fe}\mu_0 n_{BT} n_{AT} l_{AT} A_{AT} \frac{di_{BT}}{dt} \quad (D.19)$$

$$\frac{E_{L2}}{E_{L1}} = \frac{\frac{d\lambda_{AT}}{dt}}{\frac{d\lambda_{BT}}{dt}} = \frac{\mu_{Fe} n_{AT} l_{AT} A_{AT}}{n_{BT} l_{BT} ((\mu_{Fe} - 1) A_{AT} + A_{BT})} = \frac{n_{AT} l_{AT}}{n_{BT} l_{BT}} * \frac{1}{1 + \frac{A_{BT} - A_{AT}}{\mu_{Fe} A_{AT}}} = \frac{N_{AT}/N_{BT}}{1 + \frac{A_{BT} - A_{AT}}{\mu_{Fe} A_{AT}}} \quad (D.22)$$

Em que:

- L_M é a indutância mútua;
- N é o número de espiras do indutor;

APÊNDICE E – CÓDIGO PARA MATLAB – EXTRAINDO COMPONENTES RGB DE UMA IMAGEM

```
function [ r,g,b ] = rgb( foto )  
  
foto=foto;  
r=foto(:,:,1);  
r(:,:,2)=0;  
r(:,:,3)=0;  
g=foto(:,:,2);  
g(:,:,2)=g;  
g(:,:,3)=0;  
g(:,:,1)=0;  
b=foto(:,:,3);  
b(:,:,3)=b;  
b(:,:,1)=0;  
b(:,:,2)=0;  
  
figure(1)  
% subplot(2,2,1);  
title('original');  
imshow(foto);  
% subplot(2,2,2);  
figure  
title('red');  
imshow(r);  
% subplot(2,2,3);  
figure  
title('green');  
imshow(g);  
% subplot(2,2,4);  
figure  
title('blue');  
imshow(b);  
  
end
```


APÊNDICE F – CÓDIGO PARA MATLAB – ALTERANDO O CONTRASTE DE UMA IMAGEM

```
function [ fotoc ] = contraste_manual( foto,potencia,limiar )  
  
a=double(foto)/limiar;  
b=a.^potencia;  
fotoc=uint8(b*limiar);  
  
figure  
% subplot(2,1,1);  
imshow(foto); title('Imagen original')  
% subplot(2,1,2);  
figure  
imshow(fotoc); title('contraste alterado')  
  
end
```


APÊNDICE G – CÓDIGO PARA MATLAB – TRANSFORMADA DE FOURIER PARA ESTIMAR ALTA TENSÃO EFETIVA, CONSIDERANDO PERDAS NO NÚCLEO

```

clear all;
clc

%% circuito de potencia
Lbt=2.8*10^(-3);           %indutância primária = 2.8 mH
Lab=10;                     %indutância secundária = 10 H
Rs=2.2;                     %Rserie, pois Rs+Rbt= 3ohm
Rbt=0.8;                    %resist indutor primário ~ 0.8 ohm
Rat=9*10^(3);              %resist indutor secundário ~ 9 kohm
Vs=12;                      %fonte=12 V (DC)

%% características do chaveamento (Ton, Toff, freq, duty_cycle, amplitude e
forma de onda)
%LM555N
R1=10*10^(3);              % 10k
R2=3*10^(3);              % 3k
C=1000*10^(-9);           % 1uF
ton=0.693*(R1+R2)*C;      % 9ms com o transistor (e bobina) conduzindo (BT
precisa de 3-4 ms para carregar)
toff=0.693*R2*C;          % 2.1ms com o circuito aberto (toff grande =>
faísca, toff pequeno => arco, se houver energia suficiente)
Ti=ton+toff;                % período de chaveamento = 11.1ms
fchav=1/Ti;                 % freq de chaveamento = 90.2 Hz
duty_cycle=ton/Ti;          % duty = 81%

%% características da amostragem para transformada de Fourier
L=5*10^5;                   % numero de pontos da janela = 1 M
Fa = L*fchav;                % frequencia de amostragem (1 MHz)
Ta = 1/Fa;                   % periodo de amostragem (11.1ns)
t = (0:L-1)*Ta;              % vetor de tempo com L pontos, de 0 a 11.1ms
ton=t(1:ton/Ti*end);
toff=t(1:toff/Ti*end);

%% simulando a dinâmica da resistencia do transistor
Rtrans=20*10^6;              %20 M (resistencia de fuga transistor) ~ valor base
para a dinamica de corte de corrente
aux=logspace(log10(Rtrans),log10(0.5),5*10^(-3)*L);    %var auxiliar para
simular resistencia do transistor
RtransON=[aux 0.5*ones(1,(size(ton,2)-size(aux,2)))];%da resist de fuga
para resist de condução
% resistencia de condução do transistor cai de 20 Mohm para 0.5 ohm em 500
us;
aux=logspace(log10(0.5),log10(Rtrans/100000),8*10^(-4)*L);
aux=[aux logspace(log10(Rtrans/100000),log10(Rtrans),2*10^(-4)*L)];
RtransOFF=[aux Rtrans*ones(1,(size(toff,2)-size(aux,2)))];% resistencia de corte sobe de 0.5 ohm para 20 Mohm em 11 us;
ron=Rs+Rbt+RtransON;        %resistencia dinâmica de todo o circuito durante a
condução
roff=Rs+Rbt+RtransOFF;      %resistencia dinâmica de todo o circuito durante o
corte

```

```

Xcarreg=Lbt./ron;           %constante de tempo de carregamento da bobina =
0.9ms ~ (e^(-t/tsub)) - carrega em +-4ms
Xcorte=Lbt./roff;          %constante de tempo de corte = 20ns (IRF540 garante
Tcorte<100ns)

%% Corrente, tensão no indutor primário e sobre o transistor
Ion = (Vs./ron).*(1-exp(-ton./Xcarreg));           %corrente na condução
DerivIon = (Vs./ron/Xcarreg).*exp(-ton./Xcarreg);  %derivada da corrente
Vbton=Lbt*DerivIon+Rbt.*Ion;           %carregando a bobina, a tensão vai, em 3
ms, de 12V até 1.7V (Ion*RtransON)
Vbton(1)=0;                           %corrigindo erro da derivação discreta
VmsoN=Vs-Rs*Ion-Vbton;           %tensão sobre o transistor
Ioff = Ion(end)*(exp(-toff./Xcorte));
DerivIoff = -Ion(end)./Xcorte.*exp(-toff./Xcorte);
Vbtoff=Lbt*DerivIoff+Rbt.*Ioff;
VmsoFF=Vs-Rs*Ioff-Vbtoff;           %abrindo o circuito, a tensão no transistor
volta a 12V em 20us
I=[Ion Ioff];
Vbt=[Vbton Vbtoff];           %sinal periódico completo do indutor (incluindo
parte CC ~ I*Rbt)
Vmso=[VmsoN VmsoFF];           %tensão sobre o transistor

figure;
subplot(3,1,1);
plot(t,I);
title('forma de onda da corrente BT (baixa tensão)');
ylabel('corrente (A)'); xlabel('tempo (s)');
legend('I');
subplot(3,1,2);
plot(t,Vbt-Rbt*I);
title('forma de onda da tensão CA no indutor BT (excluindo Rbt*I)');
ylabel('Tensão no Indutor (V)');
legend('Vbt-Rbt*I');
subplot(3,1,3);
plot(t,Vmso);
title('forma de onda da tensão sobre o transistor');
ylabel('Tensão no transistor (V)');
legend('Vmso');

%%
n=6;           %n ciclos
Vbtn=zeros(1,n*L);
VmsoN=zeros(1,n*L);
In=zeros(1,n*L);
tn=zeros(1,n*L);

for k=1:n
    for j=1:L
        Vbtn((k-1)*L+j)=Vbt(j);
        VmsoN((k-1)*L+j)=Vmso(j);
        In((k-1)*L+j)=I(j);
        tn((k-1)*L+j)=t(j)+(k-1)*Ti;
    end
end

figure;
subplot(3,1,1);
plot(tn,In);
title('forma de onda da corrente no indutor BT (baixa tensão)');
ylabel('corrente (A)'); xlabel('tempo (s)');
legend('I');
subplot(3,1,2);
plot(tn,Vbtn);

```

```

title('forma de onda da tensão na bobina primária (incluindo Rbt*I)
(limitado a 10% do pico)');
ylabel('Tensão no Indutor (V)'); ylim([-0.1*max(abs(Vbtn)) 12]);
xlabel('tempo (s)');
legend('Vbt');
subplot(3,1,3);
plot(tn,Vmosn);
title('forma de onda da tensão no transistor (limitado a 10% do pico)');
ylabel('Tensão no transistor (V)'); ylim([0 0.1*max(Vmosn)]); xlabel('tempo
(s)');
legend('Vmos');

%% Transformada de Fourier
LL=n*L; %nova janela, para n ciclos
Y = fft(Vbtn); %transformada rápida de Fourier (velocidade
dependente de n*log(n))
P2 = abs(Y/LL); %espectro espelhado
P1 = P2(1:0.5*LL+1); %corta a janela pela metade
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1); %acoplando as frequencias espelhadas
f = Fa*(0:(LL/2-1))/LL; %o eixo da frequencia depende de Fa e L

figure;
plot(f(1:0.0088*end),P1(1:0.0088*end));
title('Espectro de frequências de Vbt - mostrado até 200 kHz - espectro
obtido foi até 22 MHz');
xlabel('f (Hz)');
ylabel('Amplitude - |FFT(Vbt)|');

%%%
k=1;
aux1=P1(k);
aux2=max(P1);
while aux1/aux2>0.10
    k=k+50;
    aux1=max(P1(k:k+50));
end

figure;
plot(f(1:k),P1(1:k));
title('ZOOM do Espectro de frequências de Vbt (amplitudes relativas >
10%)');
xlabel('f (Hz)');
ylabel('Amplitude - |FFT(Vbt)|');
k2=k;

%%%
aux1=P1(k2);
aux2=max(P1);
while aux1/aux2>0.05
    k=k+50;
    aux1=max(P1(k:k+50));
end

figure;
plot(f(k2:k),P1(k2:k));
title('Espectro de frequências de Vbt (mostrado amplitudes relativas
10%>|FFT|>5%)');
xlabel('f (Hz)');
ylabel('Amplitude - |FFT(Vbt)|');

%% reconstruindo o sinal pela transformada inversa
P=Y;

```

```

Vbtpideal=ifft(P);
a1=min(Vbtpideal)           %pico de tensão real no indutor primário

P=[1*Y(1,1:6*10^(-4)*end) 0.5*Y(1,6*10^(-4)*end+1:10^(-2)*end)
0.1*Y(1,10^(-2)*end+1:end)];
P(2:end-1) = 2*P(2:end-1);
Vbtpreal=ifft(P);
a2=-max(abs(Vbtpreal))    %pico de tensão real no indutor primário
a3=a2/a1                   %atenuação do pico de tensão

figure;
plot(tn,Vbtn,'-.');       %sinal teórico
hold on
plot(tn,Vbtpreal);        %simulando perdas relacionadas à frequência
hold off
legend('Vbt', 'Vbtreal (amortecido por perdas(f) - focault, histerese, skin
effect)');
title('comparação entre o sinal teórico e a reconstrução amortecida de
Fourier');

figure;
plot(tn,Vbtn-Vbtpideal);
title('diferença (desprezível) entre o sinal teórico e a reconstrução de
Fourier ideal');
legend('Vbt - ifft(fft(Vbt))');

%%%
a1=0.38*size(tn,2);
b1=0.62*size(tn,2);

figure;
subplot(2,2,1);
fac=4*10^(-5);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minred=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a1:b1),Vbtprealk(a1:b1),'r');
hold on; plot(tn(a1:b1),Vbtn(a1:b1)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 900 Hz');
legend('min ==-2.5 V', 'min ideal==-393 V'); ylim([-10 15]);

subplot(2,2,2);
fac=7*10^(-5);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minyellow=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a1:b1),Vbtprealk(a1:b1),'y');
hold on; plot(tn(a1:b1),Vbtn(a1:b1)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 1.5 kHz');
legend('min ==-4.9 V', 'min ideal==-393 V'); ylim([-10 15]);

subplot(2,2,3);
fac=2*10^(-4);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% mingreen=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a1:b1),Vbtprealk(a1:b1),'g');
hold on; plot(tn(a1:b1),Vbtn(a1:b1)); hold off;
f(fix(fac*end))

```

```

title(' amplitude zerada para frequências maiores que 4.5 kHz');
legend('min =-15.9 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-10 15]);

subplot(2,2,4);
fac=5*10^(-4);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblue=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a1:b1),Vbtprealk(a1:b1), 'b');
hold on; plot(tn(a1:b1),Vbtn(a1:b1)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 11 kHz');
legend('min =-41.3 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-10 15]);

%%%
a2=0.38*size(tn,2);
b2=0.56*size(tn,2);

figure;
subplot(2,2,1);
fac=5*10^(-4);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblue=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a2:b2),Vbtprealk(a2:b2), 'b');
hold on; plot(tn(a2:b2),Vbtn(a2:b2)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 11 kHz');
legend('min =-41.3 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,2);
fac=9*10^(-4);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minmagenta=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a2:b2),Vbtprealk(a2:b2), 'm');
hold on; plot(tn(a2:b2),Vbtn(a2:b2)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 20 kHz');
legend('min =-73.5 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,3);
fac=4*10^(-3);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% mincyan=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a2:b2),Vbtprealk(a2:b2), 'c');
hold on; plot(tn(a2:b2),Vbtn(a2:b2)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 90 kHz');
legend('min =-235.4 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,4);
fac=7*10^(-3);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a2:b2),Vbtprealk(a2:b2), 'k');
hold on; plot(tn(a2:b2),Vbtn(a2:b2)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 160 kHz');
legend('min =-304.8 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

```

```

%%
a3=0.4*size(tn,2);
b3=0.52*size(tn,2);

figure;
subplot(2,2,1);
fac=7*10^(-3);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a3:b3),Vbtprealk(a3:b3),'k');
hold on; plot(tn(a3:b3),Vbtn(a3:b3)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 160 kHz');
legend('min =-304.8 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,2);
fac=2*10^(-2);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a3:b3),Vbtprealk(a3:b3),'k');
hold on; plot(tn(a3:b3),Vbtn(a3:b3)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 450 kHz');
legend('min =-380.4 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,3);
fac=6*10^(-2);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a3:b3),Vbtprealk(a3:b3),'k');
hold on; plot(tn(a3:b3),Vbtn(a3:b3)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 1.3 MHz');
legend('min =-392.4 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

subplot(2,2,4);
fac=1*10^(-1);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a3:b3),Vbtprealk(a3:b3),'k');
hold on; plot(tn(a3:b3),Vbtn(a3:b3)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 2.2 MHz');
legend('min =-390.7 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-80 40]);

%%
a4=0.40623*size(tn,2);
b4=0.40679*size(tn,2);

figure;
subplot(3,1,1);
fac=1.8*10^(-1);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a4:b4),Vbtprealk(a4:b4),'k');
hold on; plot(tn(a4:b4),Vbtn(a4:b4)); hold off;

```

```

f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 4 MHz');
legend('min ==-394 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-20 12]);

subplot(3,1,2);
fac=3.1*10^(-1);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a4:b4),Vbtprealk(a4:b4), 'k');
hold on; plot(tn(a4:b4),Vbtn(a4:b4)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 6.9 MHz');
legend('min ==-393.2 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-20 12]);

subplot(3,1,3);
fac=4.75*10^(-1);
Pk=[1*Y(1,1:fac*end) 0*Y(1,fac*end+1:end*(1-fac)) 1*Y(1,end*(1-fac):end)];
Vbtprealk=ifft(Pk);
% minblack=-max(abs(Vbtprealk))
plot(tn(a4:b4),Vbtprealk(a4:b4), 'k');
hold on; plot(tn(a4:b4),Vbtn(a4:b4)); hold off;
f(fix(fac*end))
title(' amplitude zerada para frequências maiores que 10.7 MHz');
legend('min ==-393.8 V', 'min ideal=-393 V'); ylim([-20 12]);

%% Atenuação = 10*Vbt/f
N=100; %relação de espiras entre AT e BT
Vat=N*Vbtn;
clear Yk
figure;
plot(tn,Vat, 'g');
% hold on

tam=0.5*size(Y,2);
Yk=Y;

Vbtpreal=ifft(Y);
Vat=N*Vbtpreal;
figure;
plot(tn,Vat, 'b');
% hold off

```