

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PECE
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

ERIC FERNANDO MIYAMOTO YANAGIYA

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CLÍNICA DE
DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM**

SÃO PAULO

2023

ERIC FERNANDO MIYAMOTO YANAGIYA

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CLÍNICA DE DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. MSc. Eduardo Seiji Yamada

SÃO PAULO

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Yanagiya, Eric Fernando Miyamoto
ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA CLÍNICA DE
DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM / E. F. M. Yanagiya -- São Paulo, 2023.
51 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. .

1.Mamografia 2.Tomografia Computadorizada 3.Eficiência Energética
4.Diagnóstico por Imagem I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio, incentivo e paciência ao longo de todo este processo de formação. Deixo também os meus agradecimentos a todos meus colegas da empresa Siemens Healthineers, local onde pude iniciar e trilhar minha carreira profissional e que me propiciou um vasto conhecimento neste setor de saúde.

Por fim, agradeço a todos os professores e colegas do PECE/POLI por poderem compartilhar todo o conhecimento e experiência que, com toda certeza, levaremos para vida.

RESUMO

Neste projeto serão avaliados conceitos e técnicas visando o aumento da eficiência energética em uma clínica de diagnóstico por imagem na qual conterá um equipamento de ressonância magnética, uma tomografia computadorizada e um mamógrafo. Serão avaliadas as questões arquitetônicas do ambiente, sistemas de iluminação e refrigeração, bem como os equipamentos periféricos necessários para ao bom funcionamento dos aparelhos de diagnóstico por imagem.

Palavras-chave: Mamografia, Tomografia Computadorizada, Ressonância Magnética, Diagnóstico por Imagem, Eficiência, Energia.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze concepts and technics of energy efficiency for a clinic of imaging diagnosis, containing a magnetic resonance, computerized tomography and a mammography equipment. Concepts regarding the architecture of the building, lighting and cooling systems, and peripheral equipment necessary for the correct operation of our digital imaging devices will be evaluated on this paper.

Keywords: Mammography, Computerized Tomography, Magnetic Resonance Imaging, Imaging Diagnosis, Efficiency, Energy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Clínicas de diagnóstico por imagem no Brasil.....	11
2	EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM	12
2.1	A descoberta do raio-x	12
2.2	Desenvolvimento do mamógrafo.....	12
2.2.1	Princípio de formação de imagens	15
2.3	A tomografia computadorizada (CT).....	15
2.4	Ressonâncias Magnéticas (MRI).....	18
2.5.1	Mamógrafo	21
2.5.2	Tomografia Computadorizada	22
2.5.3	Ressonância Magnética	23
3	Conceitos de eficiência energética	25
3.1	Arquitetura.....	25
3.2	Conforto Térmico.....	26
3.3	Conforto Visual.....	28
3.4	Sistemas de iluminação.....	29
3.5	Sistemas de controle de iluminação	31
3.6	Sistemas de refrigeração.....	32
4	ESTUDO DE CASO	36
4.1	Arquitetura.....	36
4.2	Sistemas de Iluminação	38
4.3	Chillers	43
5	ANÁLISE FINANCEIRA DOS SISTEMAS PROPOSTOS	46
6	CONCLUSÃO.....	48
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Radiografia de mama realizada na década de 1920.....	13
Figura 2 - Treipied - Protótipo de 1965.....	14
Figura 3 - Equipamento de mamografia	14
Figura 4 - Processo de formação de imagens radiográficas	15
Figura 5 - Posicionamento de paciente em aparelho de CT, vista lateral com deslocamentos da mesa e vista posterior com movimento giratório do tubo de raios-x em torno do paciente.....	17
Figura 6 - Exame de tomografia computadorizada de abdômen.....	17
Figura 7 - Tomografia Computadorizada modelo Somatom Go.Top.....	18
Figura 8 - Exame de MRI em cortes axial, sagital e coronal.	20
Figura 9 - Equipamento de MRI modelo Magnetom Sola.....	20
Figura 10 - Dimensões mínimas da sala para o Mammomat Fusion.	21
Figura 11 - Dimensões mínimas da sala para o Somatom Go.Now.....	22
Figura 12 - Dimensões mínimas da sala para instalação do Magnetom Sempra.	23
Figura 13 - Atividades físicas e respetivos metabolismo segundo a ISO 7730.	26
Figura 14 - Telhado verde.	27
Figura 15 - Sala de estar com iluminação natural.	28
Figura 16 - Lâmpada Incandescente.....	29
Figura 17 - Lâmpada tubular fluorescente.....	30
Figura 18 - Lâmpada LED de bulbo.	31
Figura 19 - VRV Inova da marca Daikin.	34
Figura 20 - Torre de resfriamento.	35
Figura 21 - Planta arquitetônica da clínica.	37
Figura 22 - Termografia de fachadas sul e leste.	38
Figura 23 - Níveis de iluminação mínimos.	39
Figura 24 - Projeto luminotécnico.....	41
Figura 25 - Lâmpadas fluorescente Espiral marca Lorenzetti.	42
Figura 26 - Chiller linha IHA da marca Mecalor.....	43
Figura 27 - Investimento x Tempo.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Mammomat Fusion .	21
Tabela 2 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Somatom Go.Now...	22
Tabela 3 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Somatom Go.Now...	23
Tabela 4 - Método dos Lúmens.....	39
Tabela 5 - Fator de utilização lâmpada modelo LHT43 – Marca Lumicenter Lighting...	40
Tabela 6 - Economia no sistema de iluminação.....	42
Tabela 7 - Consumo elétrico com chillers comuns para clínica.....	44
Tabela 8 - Economia financeira gerada.....	45
Tabela 9 - Análise de Investimentos	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CAPEX	Capital Expenditure
CFC	Clorofluorcarbonetos
CT	Computed Tomography
DNA	Deoxyribonucleic Acid
EAS	Estabelecimento Assistencial de Saúde
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FS	Fator Solar
INCA	Instituto Nacional de Câncer
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light-Emitting Diode
MRI	Magnetic Resonance Imaging
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	Operational Expenditure
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPS	Uninterruptible Power Supply
VRF	Variable Refrigerant Flow
VRV	Variable Refrigerant Volume

1 INTRODUÇÃO

1.1 Clínicas de diagnóstico por imagem no Brasil

Os exames de diagnóstico por imagem estão presentes no cotidiano da população mundial, sendo utilizados para detecção de fraturas, tumores e lesões internas, por exemplo, sendo uma importante ferramenta para os médicos.

Segundo dados do Sebrae do Paraná, o Brasil atualmente conta com 291.362 clínicas de diagnóstico registradas, sendo uma atividade presente em 100% dos municípios brasileiros (SEBRAE PR, 2023). As três cidades com maior número destes estabelecimentos são: São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ e Salvador/BA, com 33.193, 16.845 e 6.328 unidades, respectivamente.

A abertura de novas empresas neste setor cresce a cada ano. Segundo dados do SEBRAE, em 2022 foram registradas 42.717 novas clínicas no Brasil, sendo o maior número dos últimos anos.

Estes equipamentos médicos possuem uma alta complexidade e sensibilidade, exigindo controles rigorosos de temperatura e umidade constante, e, conseqüentemente, exigindo uma alta demanda energética nestes locais. Diante deste cenário, é essencial que haja a aplicação de técnicas de eficiência energética visando mitigar os impactos ambientais e energéticos exigidos por estes estabelecimentos.

Neste trabalho serão abordados conceitos e aplicações aplicáveis nestes ambientes.

2 EQUIPAMENTOS DE DIAGNÓSTICOS POR IMAGEM

2.1 A descoberta do raio-x

Em 8 de novembro de 1895, durante experimentos com tubos de raios catódicos, o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845 - 1923) foi o responsável pela produção da primeira radiação eletromagnética nos espectros de frequência correspondente ao que hoje se denomina de raio-x. Röntgen observou que esta radiação era capaz de enegrecer filmes fotográficos. Desta forma, em dezembro de 1895, o físico solicitou para que sua esposa Anna Bertha Roentgen posicionasse a mão entre os tubos de raios catódicos e o filme fotográfico e, após certo período, percebeu que a imagem dos ossos de sua esposa havia sido projetada no filme. Esta foi a primeira radiografia da história. Devido a sua descoberta, em 1901 o físico foi premiado com o Prêmio Nobel da Física. (THE NOBEL PRIZE, 1967).

O raio-x é uma radiação eletromagnética de frequência elevada, compreendendo-se na faixa de 3×10^{17} Hz a 3×10^{19} Hz (UFRGS, 2020), possuindo diversas aplicações, tanto no ramo da medicina quanto na de análise de estruturas cristalinas. A sua geração se dá através da colisão de elétrons acelerados com um obstáculo metálico, emitindo radiações dentro deste espectro de frequência. Apesar da sua vasta área de aplicações, o seu uso deve ser controlado. Isto porque, quando utilizadas em seres vivos, esta radiação pode causar alterações nos DNAs do paciente, podendo causar, dentre outras doenças, o câncer.

No ramo da medicina, explora-se a utilização dos equipamentos de raios-x para a realização de diagnósticos por imagem. Eles podem ser utilizados para diversos tipos de procedimentos, dos mais simples, como a detecção de uma fratura, aos mais complexos. Uma de suas aplicações mais importantes é na detecção de tumores, como no caso do exame de mamografia.

2.2 Desenvolvimento do mamógrafo

O primeiro relato sobre a utilização da mamografia deu-se em 1913, com Albert Salomon. Ele foi o responsável pela realização de um estudo radiográfico de mais de 3 mil espécimes de mastectomias, realizando comparações entre os dados macroscópicos

encontrados nas imagens com os sinais microscópicos das doenças mamárias (INCA, 2019).

Porém, as primeiras tentativas de detecção de doenças mamárias, por meio da radiografia deram-se apenas na década de 1920. Na Figura 1 mostra-se uma radiografia de mama realizada na década de 20.

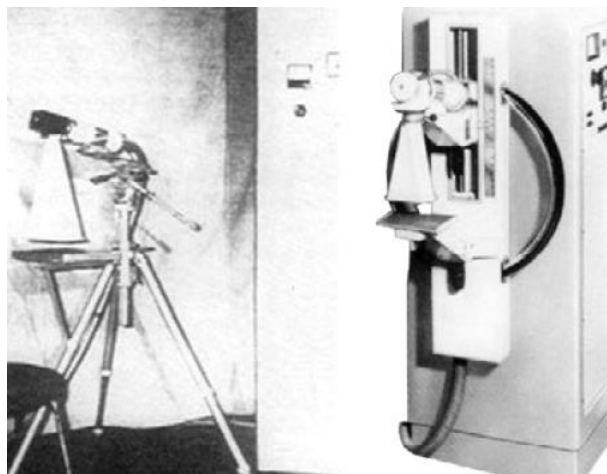
Figura 1 - Radiografia de mama realizada na década de 1920.



Fonte: INCA (2019).

Nas décadas de 1960 e 1970 houve um grande avanço no desenvolvimento de equipamentos e técnicas de radiografia e, como consequência, surgiram os primeiros equipamentos de radiologia destinados a realização de exames de mamografia. O primeiro mamógrafo, chamado de Treipied, foi desenvolvido em 1965. Sua foto é mostrada na Figura 2:

Figura 2 - Treipied - Protótipo de 1965.



Fonte: INCA (2019).

Já na década de 1980, os primeiros programas de incentivo ao exame de mamografia foram criados. Após 7 anos da sua criação, resultados mostraram que a redução da taxa de mortalidade das mulheres com câncer de mama foi de 20% a 35%, entre a faixa etária de 50 a 69 anos (INCA, 2019).

Atualmente, o exame de mamografia é o mais indicado para detecção precoce do câncer de mama. Na Figura 3 é mostrado um equipamento de mamografia.

Figura 3 - Equipamento de mamografia



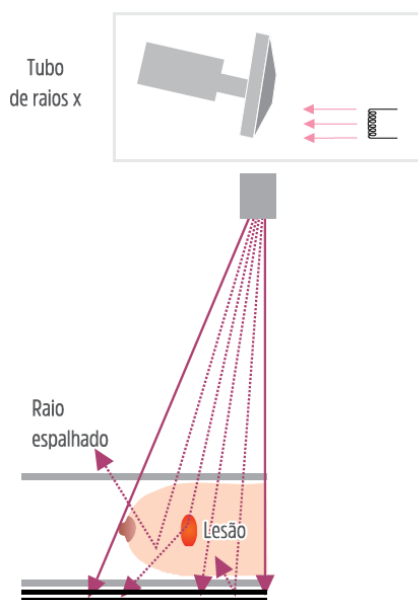
Fonte: Siemens Healthineers (2023).

2.2.1 Princípio de formação de imagens

O princípio de formação das imagens na mamografia se dá, basicamente, da mesma forma que nos demais exames de radiologia. A mama é exposta à um feixe de raios-x, proveniente de uma fonte quase que pontual. Parte desta radiação é absorvida pelos tecidos da mama, outra sofre dispersão e não contribui para a formação de imagens, e outra atravessa os tecidos e é detectada pela placa detectadora de radiação, sendo a responsável pela formação das imagens.

Ao atravessar as estruturas internas da mama, a radiação sofre diferentes níveis de atenuação, contribuindo para a formação da imagem, conforme ilustrado na Figura 4

Figura 4 - Processo de formação de imagens radiográficas



Fonte: INCA (2019).

2.3 A tomografia computadorizada (CT)

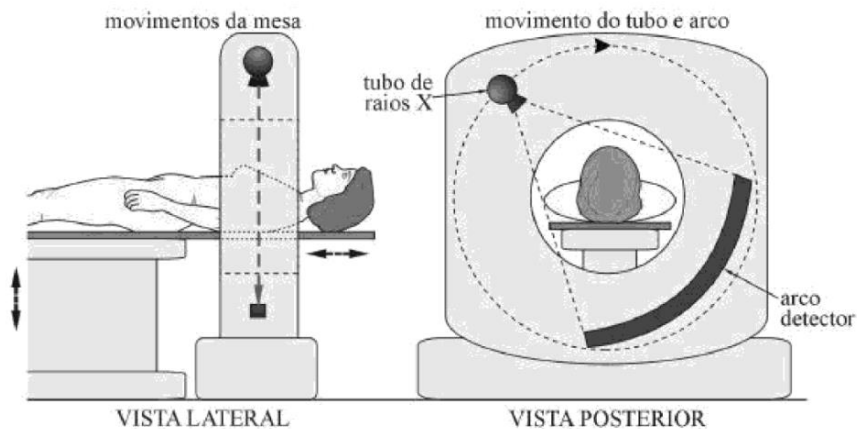
A tomografia computadorizada, também conhecido como CT (do inglês “Computerized Tomography”) surgiu no início dos anos 1970 como uma nova metodologia para exames de diagnósticos por imagem (BRAZILIAN JOURNAL OF PSYCHIATRY, 2002). Este equipamento permitiu novas possibilidades para diagnóstico de lesões e enfermidades em pacientes, até então difíceis de serem identificados, inaugurando oficialmente uma nova era da radiologia digital. A descoberta desta nova

tecnologia é considerada uma das mais importantes da história da radiologia, sendo superada apenas pela descoberta dos raios-x no final do século 19. Inicialmente esse equipamento foi denominado de CAT Scan (Computerized Axial Tomography), posteriormente X-Ray CT (X-ray computed tomography) e, por fim, CT (Computerized Tomography) ou TC (Tomografia Computadorizada).

Assim como na radiologia convencional, a formação de imagens nos equipamentos de CT é resultante da diferença na absorção do feixe de raios-x pelos diferentes tecidos do corpo humano. Quanto maior o nível de absorção pelos tecidos e órgãos, como nos casos de ossos, mais clara será a imagem apresentada no exame. O diferencial destes equipamentos está no fato de que o conjunto gerador de raios-x e detector são móveis, permitindo a aquisição da imagem em um corte anatômico axial do paciente.

No CT, um tubo gerador de raios-x se movimenta em círculo ou semicírculo em torno do objeto no qual se deseja obter a imagem e, ao invés de utilizar um filme radiográfico, como nos equipamentos tradicionais de raios-x, é utilizado um detector digital posicionado em oposição à fonte emissora, como apresentado na Figura 5. Os painéis detectores convertem a radiação em sinais elétricos e posteriormente em sinais digitais, nos quais são processados por um computador para formação das imagens. De uma maneira superficial, pode-se dizer que os equipamentos de tomografia geram diversas imagens radiográficas do paciente em 2 dimensões (2D) e as sobrepõem de modo a obter-se uma imagem tridimensional (3D).

Figura 5 - Posicionamento de paciente em aparelho de CT, vista lateral com deslocamentos da mesa e vista posterior com movimento giratório do tubo de raios-x em torno do paciente



Fonte: Tomografia computadorizada [livro eletrônico]: tecnologias e aplicações Arnaldo Prata Mourão (2017).

Figura 6 - Exame de tomografia computadorizada de abdômen.



Fonte: iStock (2023)

Os primeiros equipamentos de CT da década de 70 levavam aproximadamente 300 segundos para aquisição de um corte. Dado que as imagens devem ser contrapostas para formação de uma imagem 3D, este era um grande empecilho pois os pacientes involuntariamente poderiam se mover, como no caso de contrações respiratórias, prejudicando a qualidade dos exames. Com o avanço da tecnologia, atualmente estes

tempos estão muito menores, chegando a cerca de 0,5 a 1 segundo por corte nos equipamentos chamados de quarta geração. No Brasil os CTs devem ser, no mínimo, de terceira geração, nos quais possuem tempo de aquisição de imagem entre 3 e 10 segundos (MOURÃO,2017).

Na Figura 7 temos um equipamento de tomografia computadorizada da marca Siemens Healthineers, modelo Somatom Go.Top.

Figura 7 - Tomografia Computadorizada modelo Somatom Go.Top.



Fonte: Siemens Healthineers (2023).

2.4 Ressonâncias Magnéticas (MRI)

Os equipamentos de imagem por ressonância magnética (também conhecido como MRI – *Magnetic Resonance Imaging*) são amplamente utilizados em diagnósticos por imagens devido a sua alta capacidade em diferenciar tecidos do corpo humano. São

comumente utilizados para detecção de doenças, diagnósticos e monitoramento de outros tratamentos.

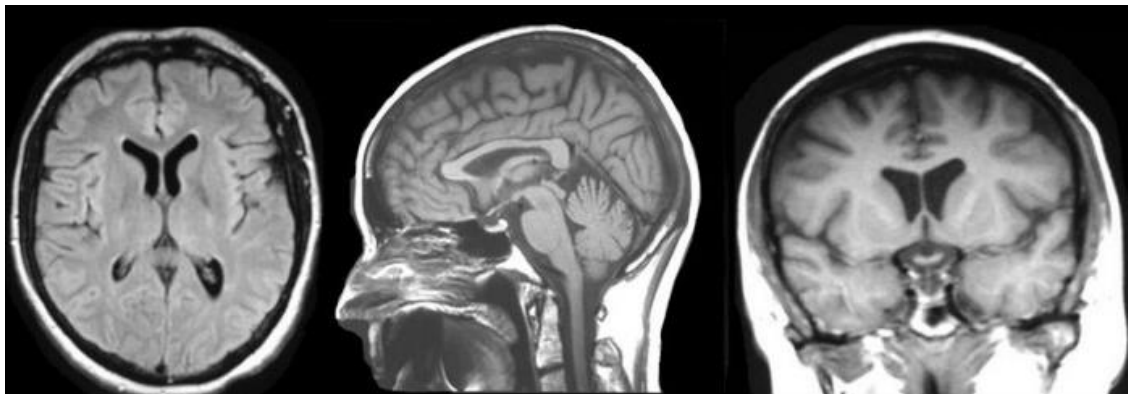
Os conceitos envolvidos no processo de formação de imagem são complexos, envolvendo tópicos como eletromagnetismo, supercondutividade, física quântica e processamento de sinais. Block e Purcell foram os primeiros a descrever o fenômeno físico da MRI em 1946 em artigos independentes da *Physics Review*, porém as primeiras imagens do corpo humano só foram viabilizadas aproximadamente trinta anos depois.

Basicamente os MRI induzem um forte campo magnético no paciente fazendo com que os prótons de suas moléculas se alinhem. Posteriormente, emite-se um pulso de radiofrequência com a função de estimular estes prótons, forçando-os a sair do seu estado de equilíbrio. Com a retirada destes pulsos de radiofrequência, ocorre a reorganização destes átomos e liberação de energia, na qual é captada pelos detectores do MRI. O tempo para reorganização bem como a quantidade de energia liberada neste processo varia de acordo com o meio e a sua composição química, permitindo que o equipamento determine o tipo de tecido, densidade, dentre outros, atuando na sua respectiva formação de imagem.

Para poder atingir os altos níveis de campo magnético necessário, o eletroímã (chamado de magneto) da MRI deve ser resfriada para que atinja o seu ponto de super condução, permitindo assim maior passagem de corrente elétrica e respectivo aumento do campo gerado. Sendo assim, durante esta etapa, utiliza-se o gás hélio para resfriamento do magneto através de um processo de Ciclo de Carnot.

Durante os exames o paciente deve permanecer estático durante todo o período com o objetivo de não afetar a qualidade da imagem. Pode-se utilizar também meios de contrastes, aplicados de maneira intravenosa nos pacientes, com a finalidade de acelerar o processo de alinhamentos dos prótons com o campo magnético – normalmente o fármaco utilizado é o gadolínio.

Figura 8 - Exame de MRI em cortes axial, sagital e coronal.



Fonte: Case Western Reserve University (2016).

Embora estes equipamentos não empreguem o uso das radiações ionizantes, como os equipamentos de raio-x, mamografia, tomografia computadorizada, dentre outros, existem alguns riscos relacionados, principalmente, ao seu forte campo magnético. Pacientes que possuem algum tipo de implante metálico, como marcapassos, bombas de insulina, entre outros, não podem ser submetidos a estes exames. Pessoas com claustrofobia e sensibilidade à ruídos também podem ter problemas com os MRI.

Figura 9 - Equipamento de MRI modelo Magnetom Sola.



Fonte: Siemens Healthineers (2023).

2.5 Especificações e parâmetros para instalação dos equipamentos

2.5.1 Mamógrafo

Para a instalação do equipamento Mammomat Fusion, é necessário que sejam atendidos os seguintes parâmetros da Tabela 1.

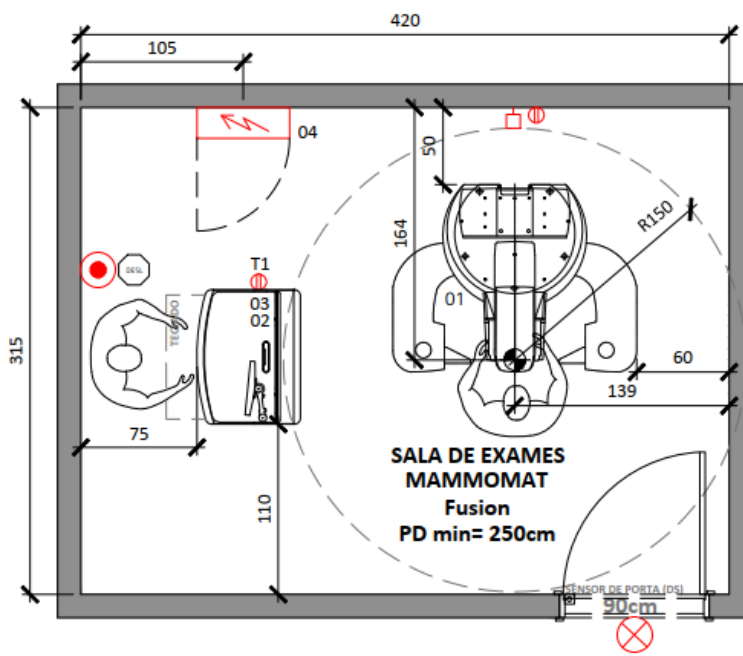
Tabela 1 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Mammomat Fusion

Tensão de operação	220V +/- 10% (Bifásico)
Potência máxima fornecida	7,5 kVA
Temperatura da Sala	18° C a 22° C
Umidade do Ar	50% +/- 10%
Pé Direito Mínimo	2,50m

Fonte: Project Management Office – Siemens Healthineers (2023).

A Figura 10 indica as dimensões mínimas recomendadas para instalação deste equipamento.

Figura 10 - Dimensões mínimas da sala para o Mammomat Fusion.



Fonte: Project Management Office - Siemens Healthineers (2023)

Equipamentos periféricos necessários:

- i) Sistema de condicionamento de ar.

2.5.2 Tomografia Computadorizada

Para a instalação do equipamento Somatom Go. Now, é necessário que sejam atendidos os seguintes parâmetros da Tabela 2.

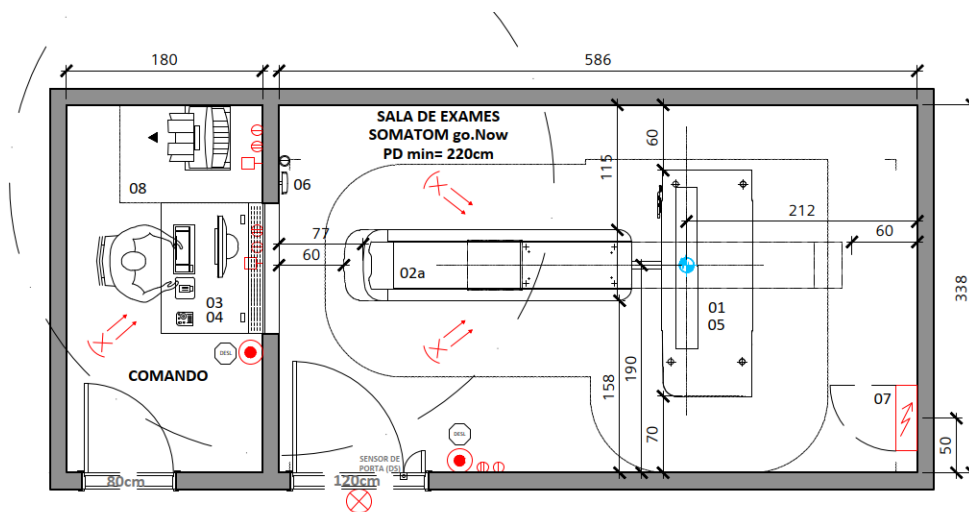
Tabela 2 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Somatom Go. Now.

Tensão de operação	380V (Trifásico)
Potência máxima fornecida	50 kVA
Temperatura da Sala	18° C a 22° C
Umidade do Ar	50% +/- 10% (Sem condensação)
Pé Direito Mínimo	2,20m

Fonte: Project Management Office – Siemens Healthineers (2023).

A Figura 11 indica as dimensões mínimas recomendadas para instalação deste equipamento.

Figura 11 - Dimensões mínimas da sala para o Somatom Go. Now.



Fonte: Project Management Office - Siemens Healthineers (2023).

Equipamentos periféricos necessários:

- i) Sistema de condicionamento de ar.

2.5.3 Ressonância Magnética

Para a instalação do equipamento Magnetom Sempra, é necessário que sejam atendidos os seguintes parâmetros da Tabela 3.

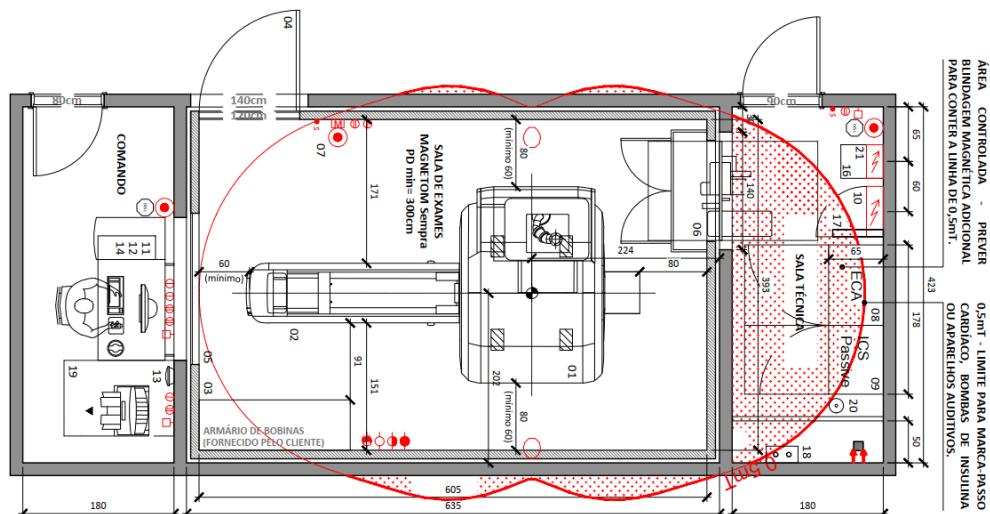
Tabela 3 - Parâmetros elétricos e ambientais para instalação do Somatom Go. Now.

Tensão de operação	480V \pm 10% (Bifásico)
Potência máxima fornecida	29 kVA
Temperatura da Sala de Exame/Técnica e de comando	18 a 22° C
Umidade do Ar	50% +/- 10%
Pé Direito Mínimo	3,00m

Fonte: Project Management Office – Siemens Healthineers (2023).

A Figura 12 indica as dimensões mínimas recomendadas para instalação deste equipamento.

Figura 12 - Dimensões mínimas da sala para instalação do Magnetom Sempra.



Fonte: Project Management Office – Siemens Healthineers (2023).

Equipamentos periféricos necessários:

- i) Sistema de condicionamento de ar;
- ii) Uninterruptible Power System (UPS) Dupla Conversão – Min 50 kVA;
- iii) Transformador Isolador – 4,0 kVA;
- iv) Autotransformador 380V/480V;
- v) Chiller para MRI:
 - Dissipação térmica na água: 22,15 kW;
 - Fluxo de água no circuito primário: 30l/min;
 - Entrada de água gelada na MRI: 6°C a 12°C.

3 CONCEITOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), é definido como fazer mais (ou, pelo menos, a mesma coisa) com menos, mantendo o conforto e a qualidade. Quando tratamos de Eficiência Energética, significa, então, gerarmos a mesma quantidade de energia ou trabalho utilizando menos recursos naturais ou energia. Estes temas vêm ganhando força no cenário global, principalmente após a conferência organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1992 cuja temática foi “Desenvolvimento Sustentável”. A chamada Eco’92 enfocou-se na capacidade da sociedade em se desenvolver de maneira sustentável, ou seja, atender as necessidades do presente sem afetar negativamente as gerações futuras. Além desta, outros marcos importantes também podem ser destacados, como o Protocolo de Montreal de 1987 onde se discutiu os efeitos de gases como o Clorofluorocarboneto (CFC) na redução da camada de ozônio, e o Protocolo de Kyoto de 1992 onde foi estabelecido metas para redução nas emissões de gás carbônico (CO₂) na atmosfera.

O Brasil conta com a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica, embasada na Lei número 10.295, no qual regulamenta através do Poder Executivo os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país (PROCEL, 2014). O Procel indica aos consumidores através do “Selo Procel” quais são os produtos que apresentam maiores níveis de eficiência energética.

Abaixo serão abordados os principais conceitos aplicados neste projeto.

3.1 Arquitetura

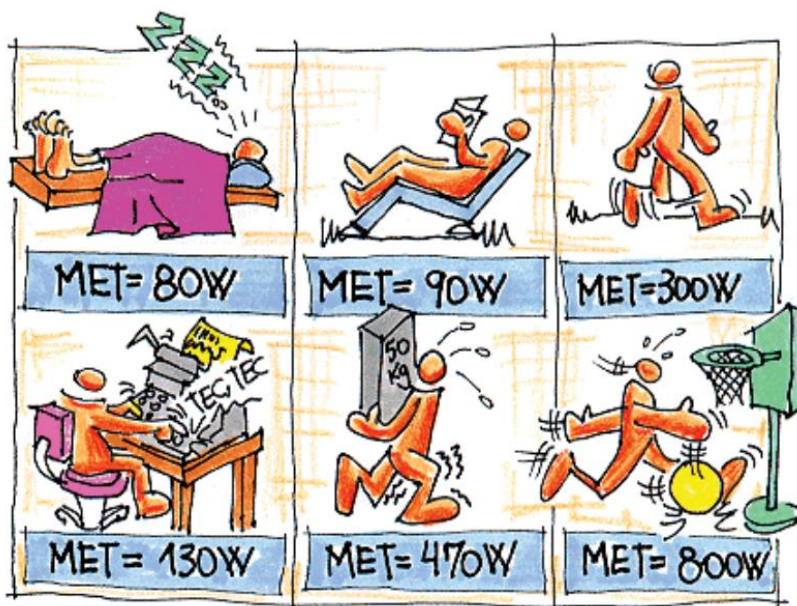
Atualmente a arquitetura dos edifícios, sejam eles comerciais, residenciais ou industriais, também precisam ter eficiência energética. Neste quesito, ele pode ser entendido como uma característica inerente da estrutura visando aumentar o conforto térmico, visual e usuários com baixo consumo energético. Desta forma, pode-se dizer que um edifício é mais eficiente que outro quando proporciona o mesmo grau de condições ambientais e com menos consumo energético.

No conceito arquitetônico, os principais conceitos abordados serão o de conforto térmico e o visual. Segundo a ASHRAE (2005), Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente Conforto Térmico. Já o conceito de Conforto Visual pode ser entendido como um conjunto de condições, em um determinado local, onde os indivíduos possam desempenhar suas atividades com o máximo nível de precisão e com o menor nível de esforço, riscos e danos à visão.

3.2 Conforto Térmico

O primeiro conceito importante é o de que os seres humanos atuam como uma máquina conversora de energia, ou seja, basicamente transformamos as calorias ingeridas através da nossa alimentação em trabalho e energia térmica. Segundo a ISO 7730 uma pessoa caminhando gera cerca de 300W de calor, já outra praticando esportes gera cerca de 800W. Desta forma é importante que seja prevista esta dissipação de calor nos projetos arquitetônicos.

Figura 13 - Atividades físicas e respectivos metabolismo segundo a ISO 7730.



Fonte: ISO 7730 (2005).

Outro fator a ser considerado é o nível de radiação solar incidente no edifício. Prédios que possuem fachadas voltadas para o norte recebem radiação solar praticamente durante todo o dia, ocasionando o aquecimento no seu interior. Neste caso, é importante que seja previsto isolamentos térmicos na alvenaria do edifício. Outro conceito ainda pouco utilizado é o chamado “Telhado Verde”, no qual consiste em utilizar uma cobertura de plantas em um telhado ecológico visando melhorar o conforto térmico e ainda atuar na captação da água pluvial. Neste caso, a água da chuva pode ser utilizada para limpeza do local, na jardinagem, nas descargas dos banheiros. Estima-se também que esta cobertura possa reduzir em até 5°C a temperatura de uma edificação.

Figura 14 - Telhado verde.



Fonte: CasaCor (2021).

Os vidros utilizados em portas e janelas também contribuem para a retenção do calor, já que podem admitir maior ou menor nível de transmitância solar. Um importante indicador nestes casos é o Fator Solar (FS) ou SHGC (do inglês *Solar Heat Gain Coefficient*), que indica a quantidade total de calor que atravessa o vidro. Neste caso, quanto menor o FS menor o ganho calorífico no local. Portanto é importante que o projetista escolha o material que melhor se adapte as necessidades térmicas do local.

3.3 Conforto Visual

Neste quesito é necessário equilibrar o nível e a qualidade da iluminação para cada local, escolhendo adequadamente o tipo de fonte utilizada. Neste caso não existe um parâmetro ideal, uma vez que a percepção de cada usuário varia de acordo com a sua idade, contexto e hora do dia. Porém, a NBR-ISO-8995 (ABNT, 2013) estabelece níveis mínimos de iluminação que devem ser considerados para cada ambiente. A escolha errada destes parâmetros pode causar fadiga, cefaleia, além de propiciar ambientes com maior risco à acidentes de trabalho.

A utilização de estruturas translúcidas, como portas, janelas e telhas, podem favorecer a entrada de iluminação natural no local e, conseqüentemente, reduzir a demanda por lâmpadas e consumo energético. Entretanto é importante que o projetista mensure os seus respectivos impactos também na questão térmica, uma vez que permitirá maior passagem de radiação solar ao ambiente.

Figura 15 - Sala de estar com iluminação natural.



Fonte: Roca Cerâmica (2022).

3.4 Sistemas de iluminação

Os sistemas de iluminação artificiais possuem uma parcela significativa no consumo energético das edificações. Atualmente alguns conceitos são utilizados para aumentar a eficiência e reduzir este consumo de energia elétrica, conforme explanados abaixo.

3.4.1 Equipamentos de maior eficiência

A utilização de lâmpadas e sistemas mais eficientes geram uma grande contribuição na redução do consumo elétrico. Abaixo serão exemplificados os principais componentes utilizados atualmente.

3.4.2 Lâmpadas incandescentes

Estas lâmpadas são formadas por um filamento de tungstênio que emite uma luz visível ao ser aquecido pela passagem de uma corrente elétrica. O filamento fica envolto por um bulbo de vidro transparentes que previne a oxidação do mesmo (MAMEDE FILHO, 2010). Este dispositivo apresenta baixíssimo nível de eficiência, cerca de 8%, onde 92% desta energia é transformada em calor. No Brasil ela passou a ser descontinuada a partir de 2012, sendo substituída por lâmpadas de outros tipos.

Figura 16 - Lâmpada Incandescente.



Fonte: Mamede Filho (2010).

3.4.3 Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são formadas por um cilindro de vidro o qual o interior é revestido por uma camada de fósforo que emite luz quando atingido por radiação ultravioleta. Para seu funcionamento, elas necessitam de um reator que pode ser externo ou integrado à lâmpada. Na maioria dos casos o reator é utilizado apenas para limitar a corrente que passa pela lâmpada, mas em alguns modelos ele faz uso de um transformador para elevar a tensão (MAMEDE FILHO, 2010). Estas lâmpadas atualmente são as mais utilizadas por seu alto nível de eficiência luminosa e menor consumo quando comparado à lâmpada incandescente. Recentemente ela está sendo substituída por modelos de LED (*Light Emitting Diode*)

Figura 17 - Lâmpada tubular fluorescente.



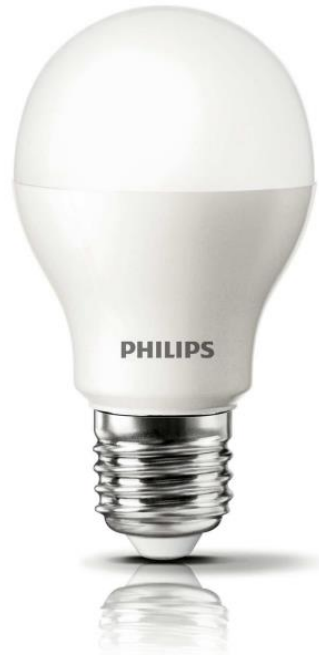
Fonte: Viana (2012).

3.4.4 Lâmpadas LED

Os LEDs (*Light Emitting Diode*) são componentes eletrônicos emissores de luz. Nos últimos anos vem se popularizando devido ao seu baixo consumo energético e redução drástica de custos, substituindo cada vez mais as lâmpadas fluorescentes.

Dentre as suas principais vantagens, podemos citar a sua longa duração, alta eficiência luminosa, variação de cores e por possuírem versões dimerizáveis. Possuem diversas versões, como a tubular, bulbo, fitas, dentre outros.

Figura 18 - Lâmpada LED de bulbo.



Fonte: PHILIPS (2017).

3.5 Sistemas de controle de iluminação

Com a finalidade de reduzir-se o consumo desnecessário de energia elétrica, podemos utilizar sistemas de automação e sensores para desligamento das luzes. Atualmente estes dispositivos de presença são muito utilizados nos banheiros e garagens das casas, porém o seu alcance por ir muito além disto.

Os principais sensores de presença utilizados atualmente são:

- Tecnologia Infravermelho Passivo (IVP): Sensibilizado pela movimentação do calor irradiado pelos seres vivos;
- Tecnologia Ultrassônica (US): Sensibilizado pelo tempo de retorno de ondas ultrassônicas emitidas pelo receptor do equipamento e recebidas pelo seu receptor. Obstáculos no ambiente são detectadas por contas destas diferenças de tempos.

- Dupla Tecnologia (IVP + US): Combina ambas as tecnologias acima mencionadas;
- Com fotocélula: Combina o sensor de presença com uma fotocélula, com a finalidade de detectar presença de luz no ambiente.

Já os programadores temporais, como o próprio nome sugere, permite que se programe o ligamento e desligamento dos sistemas de acordo com a necessidade. Por exemplo, pode-se determinar que as luzes de um certo local só serão acesas entre as 18h e 00h em dias úteis.

Um outro grande aliado para redução destes desperdícios é o sistema de controle eletrônico de iluminação com o protocolo D.A.L.I (*Digital Addressable Lighting Interface*). Este sistema atua como uma central de controle, permitindo se centralize e controle diversos dispositivos elétricos. Dentre as suas diversas vantagens, estão a capacidade de endereçar e agrupar sistemas de iluminação, flexibilidade para definição de layout para controle e setorização, interface com outros sistemas e economia com cabeamento dos sistemas de iluminação, dado que atuam com dispositivos sem fio.

3.6 Sistemas de refrigeração

Os sistemas de condicionamento de ar desempenham um papel fundamental nos sistemas prediais, comerciais e industriais. Porém, para os hospitais e clínicas de imagens, eles desempenham um papel ainda mais importante pois garantem os níveis de temperatura, umidade e de pureza de ar ideais para os equipamentos e pessoas.

No Brasil, estas diretrizes estão estabelecidas na NBR 7256 – Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Os estabelecimentos são classificados de acordo com o risco inerente, como centros cirúrgicos, salas de exames por imagem, quartos de internação, dentre outros, exigindo-se diferentes taxas de renovação de ar externo, filtragens, temperatura, umidade. As clínicas de diagnóstico por imagem estão categorizadas como baixo risco, vazão mínima de ar exterior de 2 m³/h, vazão mínima de ar total 18 m³/h e filtros categoria G3 (filtros grossos de eficiência $80 \leq E_g \leq 90$, onde E_g é a eficiência gravimétrica para pó sintético padrão, segundo a ASHRAE 52.1).

Para o correto dimensionamento dos sistemas de refrigeração, é necessário levar em conta diversos parâmetros, como a localização geográfica, orientação da edificação, níveis de insolação, taxa de ocupação de pessoas, equipamentos, iluminação, dentre outros.

Os sistemas de condicionamento de ar são classificados de acordo com os seus sistemas de expansão, podendo ser direta ou indireta.

3.6.1 Sistemas de expansão direta

Este é o sistema mais comumente utilizado e com diversas aplicações. Eles atuam na refrigeração do ar sem nenhum intermediário, ou seja, o único sistema em contato com o ambiente diretamente é o do fluido refrigerante. Em contato com a serpentina, o ar perde calor diretamente. Podemos citar como exemplo os condicionadores de ar “Split System” das residências, sistemas de ar-condicionado de veículos ou aparelhos de janela.

Um importante equipamento desta categoria é o chamado VRF (Variable Refrigerant Flow). Este equipamento possui um inversor de frequências, permitindo que ajuste a sua vazão de compressão de acordo com o nível de demanda térmica do local. Possuem também sistemas de aquecimento, monitoramento e automação integrados, facilitando a sua implantação. Por poderem modular a sua potência de acordo com a demanda térmica, estes equipamentos apresentam maior eficiência quando comparado com os tradicionais modelos Split. São equipamentos de grande porte, podendo atingir até 20 TR de potência.

Figura 19 - VRV Inova da marca Daikin.



Fonte: Daikin do Brasil (2020).

3.6.2 Expansão indireta

Já os sistemas de expansão indireta, como o próprio nome sugere, utilizam um fluido intermediário (normalmente a água) para absorção do calor do sistema de serpentinas. A água então é enviada para o trocador de calor para troca energética com o ambiente externo.

Estes são sistemas de grande porte, normalmente acima de 1000 TR, possuem central de água gelada e uma elevada vida útil. Podem ainda possuir sistemas de condensação à ar ou água.

Os sistemas de condensação à ar possuem menor eficiência quando comparado ao de condensação à água, porém apresentam menor consumo de água, já que o seu circuito é fechado, e são mais compactos pois não exigem torres de resfriamento. Possuem também sistemas com e sem variadores de frequência. Este é o principal sistema utilizado em hospitais e clínicas.

Já os sistemas de condensação à água possuem grandes capacidades (até 8500 TR) e apresentam maior eficiência quando comparado a outra categoria. Porém

necessitam de um circuito de condensação com rejeição de calor (torres de resfriamento), possuindo também modelos com e sem variadores de frequência.

Figura 20 - Torre de resfriamento.



Fonte: Friotec (2020)

4 ESTUDO DE CASO

Neste projeto serão avaliados conceitos e técnicas visando o aumento da eficiência energética em uma clínica de diagnóstico por imagem na qual conterà um equipamento de ressonância magnética, uma tomografia computadorizada e um mamógrafo. Serão avaliadas as questões arquitetônicas do ambiente, bem como os equipamentos periféricos necessários para ao bom funcionamento dos aparelhos de diagnóstico.

Para este trabalho serão considerados os seguintes equipamentos da marca Siemens Healthineers:

- i) Mamógrafo: Modelo Mammomat Fusion;
- ii) Tomografia Computadorizada: Somatom Go. Now;
- iii) Ressonância Magnética: Magnetom Sempra.

Os parâmetros de temperatura, umidade, proteções elétricas, e demais especificações serão adotadas de acordo com as recomendações do fabricante. Não será abordado neste trabalho o dimensionamento dos demais sistemas externos da clínica de imagem, como subestações de energia elétrica, sistemas de proteção de alta/média tensão, dentre outros.

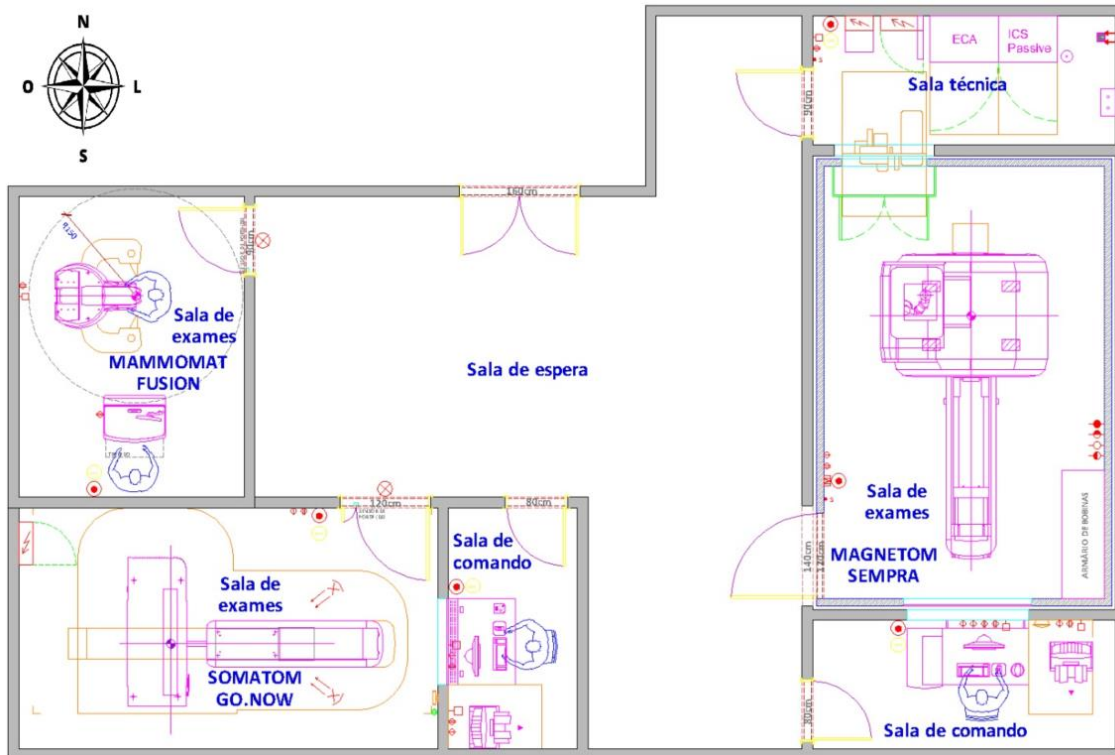
Será considerado uma clínica de exames por imagens localizado na cidade de São Paulo, no bairro de Jardins, com uma operação 24 horas e 7 dias por semana.

Para este projeto será considerado uma clínica de diagnóstico por imagens localizada na cidade de São Paulo, no bairro Jardins. Serão analisadas metodologias para redução de consumo energético e aumento de eficiência deste estabelecimento.

4.1 Arquitetura

Visando reduzir o aquecimento das salas de exames e respectivo consumo de energia elétrica para sua refrigeração, optou-se por posicionar a clínica da seguinte maneira. Nesta distribuição evitamos que as salas de exames estejam voltadas para o norte, posição na qual há maior nível de incidência de radiação para São Paulo.

Figura 21 - Planta arquitetônica da clínica.



Fonte: Autoria própria.

Por questões de privacidade dos pacientes, estas salas não podem possuir janelas. Sendo assim, evitamos que haja transferência de calor ao ambiente através dos vidros, auxiliando na manutenção da temperatura do local. Para que haja uma contribuição e incidência de luz natural na clínica, opta-se pela utilização de uma porta de vidro com baixo índice de Fator Solar, ou seja, que permite pouca passagem de calor para o ambiente.

Nota-se que as paredes voltadas para as faces leste e oeste ainda terão incidência de radiação solar durante a manhã e parte da tarde, desta forma sugere-se o uso de isolantes térmicos em sua alvenaria. Os materiais mais utilizados atualmente com esta finalidade são a lã de vidro e o poliestireno expandido, ambos exigem baixo investimento, podendo ser encontrada na loja Leroy Merlin pelos seguintes valores: Lã de vidro R\$11,60/metro e Poliestireno em R\$ 3,50/metro.

Comparando-se os coeficientes de condutividade térmica de tijolos, lã de vidro e poliestireno, temos 0,69, 0,038 e 0,029 (W/(m*K)), respectivamente, ou seja, uma redução de 94,5% e 95,8% nestes coeficientes.

Desta maneira, verificamos que tanto por questões financeiras e técnicas, o material mais indicado para este projeto é o poliestireno expandido.

A Figura abaixo apresenta uma análise termográfica demonstrando as grandes diferenças de temperatura de uma edificação somente de acordo com o direcionamento das fachadas.

Figura 22 - Termografia de fachadas sul e leste.



Fonte: Roberto Lamberts – LABEEE/UFSC (2023)

4.2 Sistemas de Iluminação

Os níveis de iluminação necessários para sala de exames e de espera serão definidos de acordo com NBR ISO 8995-1/2013. Vemos na Figura 23, retirado da NBR, que os valores para estes dois locais devem ser de 500 e 200 lux, respectivamente. Sendo assim, podemos calcular a quantidade de lâmpadas necessárias para cada ambiente.

Figura 23 - Níveis de iluminação mínimos.

29. Locais de assistência médica				
Salas de espera	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante o dia	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Corredores: durante a noite	50	2	80	Iluminância ao nível do piso.
Quartos com claridade	200	22	80	Iluminância ao nível do piso.
Escritório dos funcionários	500	19	80	
Sala dos funcionários	300	19	80	
Enfermarias				
— iluminação em geral	100	19	80	Iluminância ao nível do piso.
— iluminação de leitura	300	19	80	
— exame simples	300	19	80	
Exames e tratamento	1 000	19	90	
Iluminação noturna, iluminação de observação	5	19	80	
Banheiros e toaletes para os pacientes	200	22	80	
Sala de exames em geral	500	19	90	

Fonte: NBR ISO 8995-1 (2013).

O método escolhido para estes cálculos é o dos lúmens, dado a baixa complexidade do local. Desta maneira, temos os seguintes resultados.

Tabela 4 - Método dos Lúmens.

Descrição	Sala de MRI	Sala de Tomografia	Sala de Mamografia	Sala de Espera
$K = \frac{C \times L}{(C + L) * A}$	1,48	1,17	0,9	2,86
Fator de Utilização (FU)	0,96	0,99	1,00	0,79
Fator de Manutenção (FM)	0,97	0,97	0,97	0,97
Iluminância Mínima (E)	500 lux	500 lux	500 lux	300 lux
Fluxo Luminoso (φ)	4397 lm	4397 lm	4397 lm	4397 lm
Área do Ambiente	42,09 m ²	25,89 m ²	13,23 m ²	51,40 m ²
$N = \frac{E \times S}{\varphi * FU * FM}$	5,16 -> 6	3,07 -> 4	1,55 -> 2	4,57 -> 5

Fonte: Autoria própria.

Onde:

- K = Índice do ambiente;
- C = Comprimento do ambiente;
- L = Largura do ambiente;
- A = Altura do plano iluminante da luminária ao plano de trabalho;
- N = Número de luminárias;
- E= Iluminância Mínima (lux) conforme NBR-ISO-8995;
- S= Área do Ambiente;
- φ = Fluxo Luminoso total das lâmpadas da luminária;
- FU= Fator de Utilização da luminária;
- FM= Fator de Manutenção.

Tabela 5 - Fator de utilização lâmpada modelo LHT43 – Marca Lumicenter Lighting.

Teto (%)	70			50			30			0
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
Chão (%)	20			20			20			0
RCR	Fator de Utilização (%)									
0	116	116	116	111	111	111	106	106	106	100
1	102	98	95	98	94	92	94	91	89	84
2	89	83	78	86	81	76	82	78	74	70
3	79	71	65	76	69	64	73	68	63	60
4	70	62	56	67	60	55	65	59	54	51
5	63	54	48	61	53	48	59	52	47	45
6	57	48	42	55	47	42	53	47	42	39
7	52	43	37	50	43	37	49	42	37	35
8	47	39	34	46	39	33	45	38	33	31
9	43	36	30	42	35	30	41	35	30	28
10	40	33	27	39	32	27	38	32	27	25

Fonte: Lumicenter Lighting (2023)

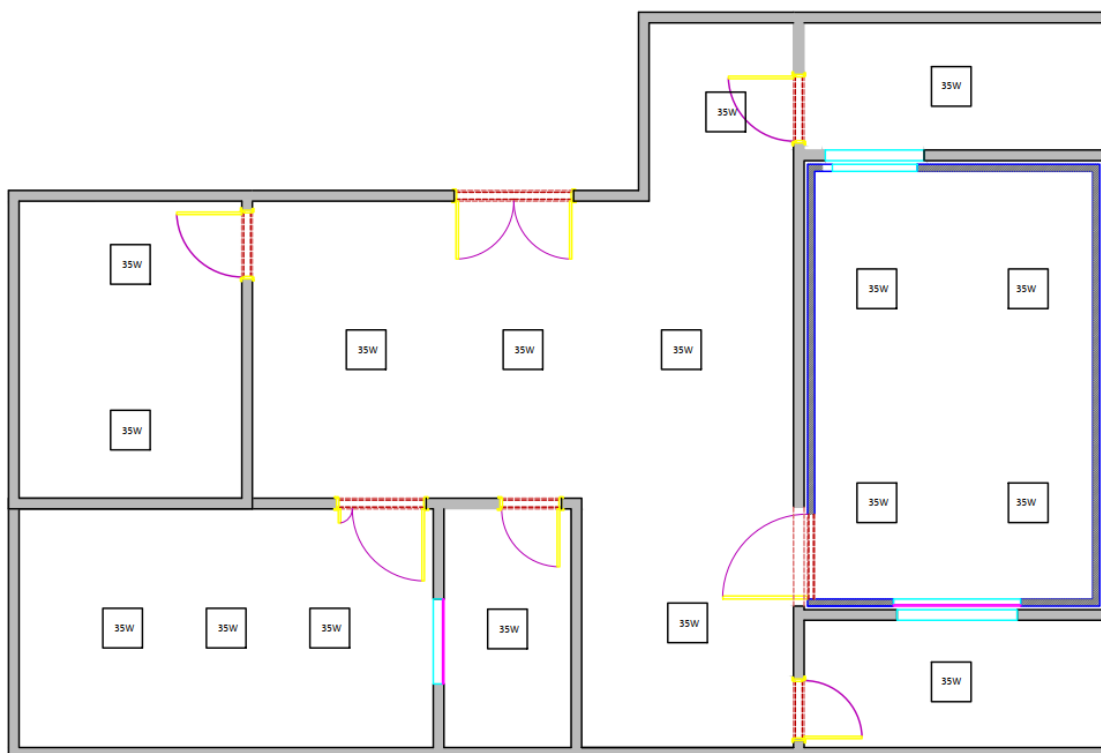
Para os cálculos, foram considerados os índices de reflexão para teto, parede e chão de 70%, 50% e 20%, respectivamente, de maneira a maximizarmos a eficiência do local.

O fator de utilização foi calculado de acordo com a Tabela 5. Para chegarmos em valores mais precisos, foi utilizado a interpolação de dados em alguns dos casos.

O fator de manutenção foi o de 0,97, ou seja, considerado um ambiente limpo e com período de limpeza das lâmpadas a cada 2 meses.

Desta forma, as luminárias deste projeto serão distribuídas da seguinte forma:

Figura 24 - Projeto luminotécnico.



Fonte: Autoria Própria.

Considerando que a clínica operará de maneira ininterrupta e que não há iluminação natural dentro das salas de exames, será utilizado lâmpadas LED de alta eficiência. Apesar do seu valor mais elevado de compra, estes dispositivos possuem menor consumo energético quando comparado a outros modelos fluorescentes. No exemplo abaixo, temos uma lâmpada da marca Lorenzetti de 30W e com fluxo luminoso de 2048 lm (aproximadamente metade do modelo considerado no projeto anterior), neste caso seria necessário dobrar a quantidade de lâmpadas utilizadas.

Figura 25 - Lâmpadas fluorescente Espiral marca Lorenzetti.



ESPIRAL 30W 127V 6400K	
POTÊNCIA	30W
TENSÃO	127V
TEMPERATURA DE COR	6400K
VIDA MÉDIA	6.000 HORAS
FREQUÊNCIA NOMINAL	50/60Hz
BASE	Casquilho E27
FLUXO LUMINOSO (lm)	2048
CORRENTE NOMINAL	144 mA
FATOR DE POTÊNCIA	≥ 0,92
MÁXIMA TEMPERATURA	55°C
GARANTIA	1 ANO

Fonte: Amazon (2023).

Calculando-se os investimentos e retornos financeiros para estes componentes, temos:

Tabela 6 - Economia no sistema de iluminação.

Descrição	Fluorescente – Modelo Espiral 30W	LED – Modelo LHT43
Investimento	R\$ 45,44 * 34 = R\$ 1544,96	R\$ 246,80 * 17 = R\$ 4195,6
Consumo elétrico total por hora	1,02 kWh	0,51 kWh
Economia kWh	0	0,51 kWh
Custo kWh médio	R\$ 0,37	R\$ 0,37
Payback Simples Estimado	0	585,29 dias
Vida útil nominal	6.000 horas	70.000 horas
Custo aproximado total em 70.000 horas	R\$ 44.439,52	R\$ 30.095,6

Fonte: Próprio autor.

4.3 Chillers

Os chillers representam uma parte essencial dos sistemas de diagnósticos por imagem, garantindo os corretos parâmetros de temperatura e umidade demandados por cada um. Para estes casos é importante considerar sistemas de backup, de forma a evitar danos e perdas financeiras ao cliente em caso de falhas no sistema de refrigeração.

Desta forma, serão considerados os seguintes sistemas recomendados pelo fabricante:

- I. **MRI:** Dois Chillers Modelo IHA-30-RI 40 kW – Marca Mecalor;
- II. **CT:** Dois Chillers Modelo IHA-25-RI 26 kW – Marca Mecalor;
- III. **Mamógrafo + Sala de Espera:** Dois Chillers Modelo IHA-25-RI 26 kW – Marca Mecalor;

Optou-se pela linha IHA deste fabricante dado que ele utiliza sistema inverter, reduzindo o consumo elétrico em 31,3%, segundo seu próprio manual. Além disto, esta é uma linha específica para sistema médicos/hospitalares.

Figura 26 - Chiller linha IHA da marca Mecalor.



Fonte: Mecalor (2023).

Os sistemas deverão trabalhar de maneira alternada em cada uma das salas, ou seja, apenas 3 chillers operarão simultaneamente em toda clínica. Apesar do maior investimento, a redundância nestes casos é esse essencial pois oscilações nos níveis de umidade e temperatura poderão danificar os equipamentos médicos.

De acordo com os dados do fabricante, as salas de exames devem permanecer em uma temperatura de 22°C. Além disto, os ambientes com circulação de pessoas devem ficar aproximadamente em 23°C. Desta maneira, optou-se por padronizar a temperatura de todos estes ambientes para 22°C de modo a evitar trocas de calor entre eles e facilitar o controle.

Segundo dados do próprio fabricante, o modelo inverter deste chiller reduz em 31,3% o consumo de energia elétrica. Desta forma, podemos estimar a redução de custos para toda a clínica.

Tabela 7 - Consumo elétrico com chillers comuns para clínica.

Chiller	Consumo kWh/dia	Consumo MWh/mês	Consumo MWh/ano
40	960	28.800	350.400
26	624	18.720	227.760
26	624	18.720	227.760
	Total	66.240	805.920

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 - Economia financeira gerada.

Custo de Demanda - Ponta	R\$	31.00
Custo de Demanda – Fora de Ponta	R\$	18.82
Tarifa TUSD + TE - Ponta	R\$	0.50
Tarifa TUSD + TE – Fora de Ponta	R\$	0.36
Custo de Demanda (Sem Inverter)	R\$	4,583.44
Custo de Demanda (Com Inverter)	R\$	3,148.82
Custo TUSD + TE (Sem inverter)	\$	24,697.68
Custo TUSD + TE (Com inverter)	\$	16,967.31
Economia Mensal	R\$	9,164.99
Economia Anual	R\$	109,979.90
Vida útil médio dos equipamentos médicos	8 anos	
Economia total em 8 anos	R\$	879,839.19

Fonte: Autoria própria.

5 ANÁLISE FINANCEIRA DOS SISTEMAS PROPOSTOS

De acordo com os sistemas propostos e analisados, realizou-se uma análise de investimentos e de retorno de financeiro. A Tabela 9 ilustra os possíveis cenários para este projeto ao longo de 8 anos (70.000 horas), que é período de vida médio para os equipamentos de diagnósticos por imagem. Neste cenário, estimou-se o custo de compra e instalação de todos os chillers convencionais em R\$1.100.000,00 e será analisado a viabilidade de investimento em um chiller inverter no valor de R\$ 1.540.000,00.

Tabela 9 - Análise de Investimentos

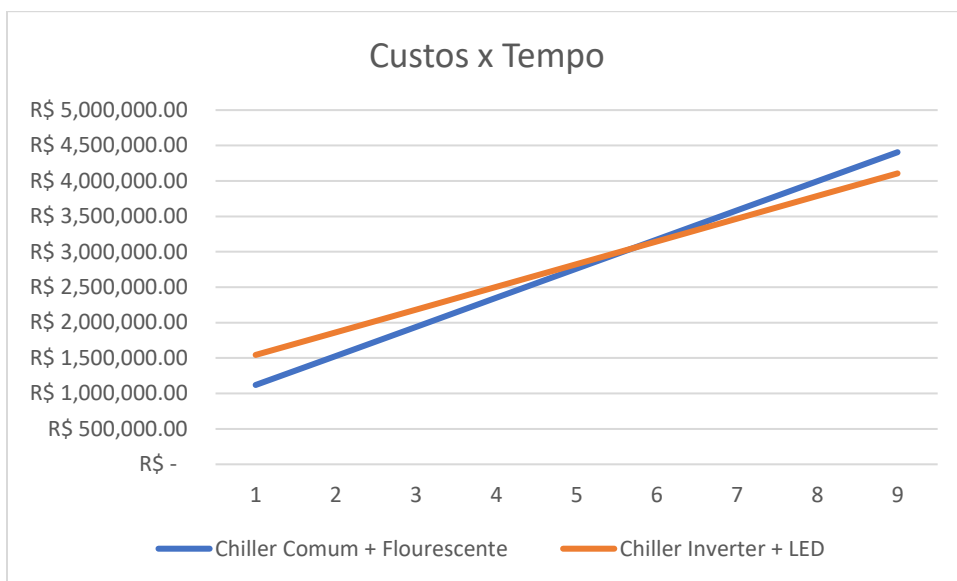
Descrição	Lâmpada Fluorescente + Chillers Convencionais		Lâmpada LED + Chiller Inverter	
CAPEX	R\$	1.120.084,48	R\$	1.544.195,60
OPEX (5% ao ano por 8 anos)	R\$	448.033,79	R\$	617.678,24
Consumo de Energia Elétrica em 8 anos (kWh)		6.518.841,60		4.465.077,12
Gasto com Energia Elétrica em 8 anos	R\$	2.837.405,84	R\$	1.944.357,65
Investimento total em 8 anos	R\$	4.405.524,11	R\$	4.106.231,49

Fonte: Autoria Própria.

Através desta análise de investimentos pode-se verificar que, apesar do maior CAPEX (Capital Expenditure) exigido, a combinação de chillers inverters e lâmpadas LED trazem uma redução de custos de R\$ 299.292,63 quando comparado ao sistema tradicional de chillers e lâmpadas fluorescentes, ou seja, uma redução aproximada de 6,79%.

Em adição, podemos verificar na Figura a seguir que os custos de ambos os sistemas se igualam a partir do quinto ano, ou seja, neste momento o sistema de chillers inverters e lâmpadas fluorescentes passam a ser mais vantajosos.

Figura 27 - Investimento x Tempo



Fonte: Autoria Própria

6 CONCLUSÃO

A eficiência energética está cada vez mais presente no cotidiano da população. Diferente do que muitos pensam ele não apenas engloba a produção de equipamentos mais eficientes, senão que atua em diversos âmbitos como na arquitetura, construção civil, dentre outros.

Para hospitais e clínicas de diagnósticos por imagem estas aplicações se tornam ainda mais importantes, pois envolvem equipamentos com alto consumo energético e que devem ser operados ininterruptamente. Portanto, qualquer pequena alteração no perfil de consumo pode gerar um grande impacto financeiro. As atuações neste meio, porém, devem ser realizadas de maneira muito cuidadosa pois qualquer falha no processo poderá implicar em laudos de saúde incorretos, complicações aos pacientes e até mortes.

Vemos uma grande expansão no número de hospitais e clínicas de diagnósticos por imagem, fruto de novas parcerias entre grandes grupos do setor, portanto acredito que este nicho de eficiência energética para este segmento seja muito promissor e que deve ser explorada.

Para futuros trabalhos, sugere-se um estudo dedicado sobre a influência da irradiação solar nestes estabelecimentos, bem como um estudo de redimensionamento de cargas e otimização dos sistemas de chillers utilizados nestes locais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **ABNT NBR 7256**: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013**: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução homologatória nº 3.053, de 28 de junho de 2022**. Brasília, DF: ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20223053ti.pdf>

AMAZON BRASIL. Lâmpada fluorescente alt espiral 127v br 30w lorenzetti. AMAZON BRASIL". Brasil: Amazon Brasil, 2023. Disponível em: https://www.amazon.com.br/LAMPADA-FLUORESCENTE-ESPIRAL-127V-LORENZETTI/dp/B08621FWQJ/ref=asc_df_B08621FWQJ/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379818605924&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=142550627834660556&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1001773&hvtargid=pla-913036587730&psc=1. Acesso em: 20 out. 2023.

DAIKIN DO BRASIL. **VRV INOVA**. Brasil: Daikin do Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.daikin.com.br/produto/vrv-inova>.

ELETROBRÁS. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência Energética**. Brasília, DF: EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em 15 out. 2023.

GRUPO FRIOTEC. **Qual a diferença entre o chiller e a torre de resfriamento?**. Brasil: Grupo Friotec, 2020. Disponível em <https://grupofriotec.com.br/qual-a-diferenca-entre-o-chiller-e-a-torre-de-resfriamento/>. Acesso em: 20 out. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILME (INCA). **Atualização em mamografia para técnicos em radiologia**: 2. Ed. Rev. Atual. Rio de Janeiro: INCA, 2019.

International Organization for Standardization. **ISO 7730:2005**, 3. ed. Switzerland: ISO, 2005.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. 2016. Notas de Aula – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://labeeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf>. Acesso em 15 out. 2023.

Lumicenter Lighting. Catálogo De Produtos LHT43-S/EHT 43-S. Brasil: **Lumicenter Lighting**. Disponível em: <https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/linhas-comercial-e-industrial-led-c69/>.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MAZZOLA, A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, Brasil, v. 3(1):117-29, 2019. Disponível em: http://hpc.ct.utfpr.edu.br/~charlie/docs/PPGFCET/052_Resson%C3%A2ncia.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

MECALOR. Chiller Hospitalar IHA. Brasil: **Mecacor**. Disponível em: <https://www.mecacor.com/portfolio/chiller-hospitalar/>.

MOURÃO, A. P. **Tomografia computadorizada [livro eletrônico]**: tecnologias e aplicações. 2. ed. São Caetano do Sul – SP: Difusão Editora, 2017.

NIH - National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. **Computed Tomography (CT)**. Estados Unidos da América: National Institutes of Health, 2022. Disponível em: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/computed-tomography-ct>. Acesso em 19 out. 2023.

OLIVARES, D. Tomografia computadorizada do abdômen. **Istock Photo**, 16 mar. 2021. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/foto/tomografia-computadorizada-do-abd%C3%B4men-mostrando-f%C3%ADgado-rim-e-coluna-gm1306894722-397345002?phrase=tomografia+computadorizada+abdomen>. Acesso em 20/10/2023.

PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Performance Rating Method Reference Manual**. US Department of Energy, 2016.

PHILIPS. Standard Led Bulbs. Brasil: **PHILIPS**. Disponível em: https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-de-led/lampadas-de-led/standard-led-bulbs/LP_CF_6979538_EU/family>. Acesso em 18 out. 2023.

PRESTON, D. **Magnetic Resonance Imaging (MRI)**. Estados Unidos da América: National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, 2016. Disponível em: <https://case.edu/med/neurology/NR/MRI%20Basics.htm>. Acesso em: 20 out. 2023.

ROCA CERÂMICA. **Confira como utilizar a iluminação natural nos seus projetos!**. São Paulo: Roca Brasil Cerâmica, 2022. Disponível em: <https://www.rocaceramica.com.br/blog/como-utilizar-a-iluminacao-natural-nos-seus-projetos/>. Acesso em 20 out. 2023.

SEBRAE PR. **Sebrae em dados - Clínicas Médicas**. Paraná: Sebrae PR, 2023. Disponível em: <https://sebraepr.com.br/comunidade/artigo/sebrae-em-dados-clinicas-medicas>.

SIEMENS HEALTHINEERS. Magnetom Sola - Abrace a natureza humana em 1.5T. Brasil: **Siemens Healthineers**. Disponível em: <https://www.siemens-healthineers.com/br/magnetic-resonance-imaging/0-35-to-1-5t-mri-scanner/magnetom-sola>.

SIEMENS HEALTHINEERS. Mammomat Fusion. Brasil: **Siemens Healthineers**. Disponível em: <https://www.siemens-healthineers.com/br/mammography/digital-mammography/mammomat-fusion>.

SIEMENS HEALTHINEERS. Somatom Go. Top. Brasil: **Siemens Healthineers**. Disponível em: <https://www.siemens-healthineers.com/br/computed-tomography/single-source-ct/somatom-go-top>.

SOUZA, K.; COELHO, Y. **Telhado verde: o que é e quais as vantagens**. São Paulo: CASACOR, 2021. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/sustentabilidade/telhado-verde-o-que-e/>. Acesso em 20/10/2023.

THE NOBEL PRIZE. **Wilhelm Conrad Röntgen – Biographical**. Nobel Prize Outreach AB, 2024. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1901/rontgen/biographical/>. Acesso em 04 jan. 2024.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações**. 1. ed. Campinas - SP: Elektro, 2012.

YAMASHITA, H.; AMARO, E. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Brazilian Journal of Psychiatry**, 2001. No prelo. DOI 10.1590/S1516-44462001000500002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbp/a/QkL5KhdH3WcYXmmHvmR7RCz/>. Acesso em 18 out. 2023.