



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO
DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA**

Paulo Henrique Silva Monteiro

**Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de
blindagem para fins de radioproteção**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina, Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Mestre(a) em Pesquisa e Desenvolvimento
(Biotecnologia Médica)

Orientadora: Profa. Associada Sonia Marta Moriguchi

Coorientador: Prof. Associado Rafael Plana Simões

Botucatu

2025

Paulo Henrique Silva Monteiro

Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de
blindagem para fins de radioproteção

Dissertação apresentada à Faculdade de
Medicina, Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Mestre(a) em Pesquisa e Desenvolvimento
(Biotecnologia Médica)

Orientadora: Profa. Associada Sonia Marta Moriguchi

Coorientador: Prof. Associado Rafael Plana Simões

Botucatu

2025

Botucatu, 26 de janeiro de 2025.

Prezados Senhores,

Tem o presente a finalidade de solicitar que a realização de Defesa de Dissertação de Mestrado do aluno PAULO HENRIQUE SILVA MONTEIRO, a ser realizada no dia 26/02/2025 às 16 horas, via Google Meet, ocorra em sessão fechada, tendo a participação apenas do referido aluno e dos Membros Titulares da Comissão Examinadora.

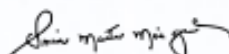
Tal solicitação está amparada no estabelecido no Regimento Geral de Pós-graduação da Unesp – RESOLUÇÃO UNESP Nº 30/10, alterada pelas Resoluções Unesp 49/2010, 41/2012, 138/2012 e 27/2013 – Artigo 26 – *Para a obtenção do título de Mestre e de Doutor, são necessários, respectivamente, a defesa de uma dissertação de Mestrado ou trabalho equivalente, e de uma tese de Doutorado, e o cumprimento das outras exigências constantes neste Regimento e no Regulamento do Programa. Parágrafo único – A dissertação de Mestrado, ou trabalho equivalente ou tese de Doutorado, serão apresentados pelos candidatos a uma Comissão Examinadora, que o arguirá em sessão pública, exceto nos casos em que o trabalho demande proteção de propriedade intelectual.*

Solicito ainda que a divulgação do manuscrito que depositaremos no repositório da Biblioteca Unesp seja realizado somente após um ano, a partir de 26/02/2026.

Tais solicitações são necessárias tendo em vista que há envolvimento de patente.

Solicito também que o aluno seja dispensado da apresentação do comprovante de submissão do artigo científico correspondente. Comprometo-me a enviar o artigo para submissão após o resultado da análise da patente e entregarei o comprovante do mesmo na Seção Técnica de Pós-graduação.

Atenciosamente,

Prof. Dra. Sonia Marta Moriguchi
Orientadora Documento assinado digitalmente
SONIA MARTA MORIGUCHI
Data: 26/01/2025 13:01:33 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>
De acordo:
Paulo Henrique Silva Monteiro
Aluno

Ao Conselho do Programa de Pós-Graduação
em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica).
Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP

TERMO DE SIGILO PARA MEMBRO DE BANCA EXAMINADORA

Sônia Marta Moriguchi, Brasileira, Casada, residente à Rua Petúnia, 101, Ap. 27, CEP 18603-502, Jardim Bom Pastor, Botucatu-SP, Professora Universitária, inscrito no CPF/MF sob no 040.570.468-28, portadora da cédula de identidade RG no 8.454.533, SSP/SP, doravante denominado EXAMINADOR;

Considerando que a UNESP possui política institucional que visa a proteção legal dos resultados oriundos de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento técnico e tecnológico;

Considerando que a novidade é um dos requisitos necessários à proteção dos resultados de pesquisas pelos institutos de propriedade industrial, e, por consequência, a sua manutenção em sigilo até a adoção dos procedimentos legais pertinentes é indispensável para a obtenção da proteção almejada; e

Considerando, ainda, o disciplinado pelo ordenamento jurídico brasileiro, em especial pela Lei nº 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), Lei nº 9.609/98 (Lei de Programa de Computador), Lei nº 9.610/98 (Lei de Direitos Autorais), Lei nº 10.973/04 (Lei de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005) e Lei Complementar nº 1.049/08 (Lei Paulista de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 54.690, de 18 de agosto de 2009);

firma o EXAMINADOR o presente Termo de Sigilo, nas condições a seguir:

CLÁUSULA PRIMEIRA. O EXAMINADOR compromete-se a manter sigilo em relação a qualquer "Informação Confidencial" a que tiver acesso no exercício de suas atividades de membro de banca examinadora constituída para análise da dissertação intitulada "**Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção**" pelo mestrando **Paulo Henrique Silva Monteiro**, da Unidade Campus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

CLÁUSULA SEGUNDA. A expressão "Informação Confidencial" abrange toda a informação relativa às pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação a que o EXAMINADOR tenha acesso, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios de comunicação, inclusive eletrônicos.

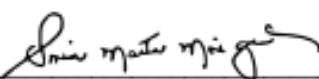
Parágrafo único. Não será considerada "Informação Confidencial" aquela que estiver sob domínio público antes de ser revelada ou disponibilizada ao EXAMINADOR.

CLÁUSULA TERCEIRA. O presente termo vigorará até que os direitos de propriedade intelectual das pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação estejam devidamente protegidos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI e junto ao Órgão competente em âmbito internacional pela UNESP.

CLÁUSULA QUARTA. Fica eleito uma das varas da Fazenda Pública Estadual, circunscrição judiciária de São Paulo, Capital, para dirimir dúvidas ou litígios oriundos do presente instrumento.

E para todos os efeitos, firma o presente termo na presença das testemunhas abaixo-assinadas.

São Paulo, 26 de janeiro de 2025.


Prof.ª. Dra. Sonia Marta Moriguchi

Documento assinado digitalmente
SONIA MARTA MORIGUCHI
Data: 26/01/2025 10:41:59-0300
Verifique em <https://validar.fls.gov.br>

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TERMO DE SIGILO

Eduardo Tinois da Silva, Brasileiro, Casado, residente à Rua Francisca Amaral, 103, Cond. Jd Botânico, CEP 13106-216, Jardim Botânico, Campinas-SP, Professor Universitário, inscrito no CPF/MF sob no 153.836.828-56, portador da cédula de identidade RG 20.819.446-0. SSPSP, emissão 11/01/2018, doravante denominado CONVIDADO;

Considerando que a UNESP possui política institucional que visa a proteção legal dos resultados oriundos de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento técnico e tecnológico;

Considerando que a novidade é um dos requisitos necessários à proteção dos resultados de pesquisas pelos institutos de propriedade industrial, e, por consequência, a sua manutenção em sigilo até a adoção dos procedimentos legais pertinentes é indispensável para a obtenção da proteção almejada; e

Considerando, ainda, o disciplinado pelo ordenamento jurídico brasileiro, em especial pela Lei nº 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), Lei nº 9.609/98 (Lei de Programa de Computador), Lei nº 9.610/98 (Lei de Direitos Autorais), Lei nº 10.973/04 (Lei de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005) e Lei Complementar nº 1.049/08 (Lei Paulista de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 54.690, de 18 de agosto de 2009);

firma o CONVIDADO o presente Termo de Sigilo, nas condições a seguir:

CLÁUSULA PRIMEIRA. O CONVIDADO compromete-se a manter sigilo em relação a qualquer "Informação Confidencial" a que tiver acesso no exercício de suas atividades de CONVIDADO para análise da dissertação intitulada "**Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção**" pelo mestrando **Paulo Henrique Silva Monteiro**, da Unidade Campus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

CLÁUSULA SEGUNDA. A expressão "Informação Confidencial" abrange toda a informação relativa às pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação a que o CONVIDADO tenha acesso, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios de comunicação, inclusive eletrônicos.

Parágrafo único. Não será considerada "Informação Confidencial" aquela que estiver sob domínio público antes de ser revelada ou disponibilizada ao CONVIDADO.

CLÁUSULA TERCEIRA. O presente termo vigorará até que os direitos de propriedade intelectual das pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação estejam devidamente protegidos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI e junto ao Órgão competente em âmbito internacional pela UNESP.

CLÁUSULA QUARTA. Fica eleito uma das varas da Fazenda Pública Estadual, circunscrição judiciária de São Paulo, Capital, para dirimir dúvidas ou litígios oriundos do presente instrumento.

E para todos os efeitos, firma o presente termo na presença das testemunhas abaixo-assinadas.

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO TINOIS DA SILVA**
Data: 26/02/2025 14:59:50-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

São Paulo, 25 de fevereiro de 2025.

Dr. Eduardo Tinois da Silva

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TERMO DE SIGILO PARA MEMBRO DE BANCA EXAMINADORA

Eduardo Nóbrega Pereira Lima, Brasileiro, divorciado, residente à Rua Sebastião Carneiro 91, Bairro Aclimação, CEP 01543-020 São Paulo, São Paulo, Médico, inscrito no CPF/MF sob no 101.935.558-16, portador da cédula de identidade RG no 11.080.811-3, SSP/SP, doravante denominado EXAMINADOR;

Considerando que a UNESP possui política institucional que visa a proteção legal dos resultados oriundos de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento técnico e tecnológico;

Considerando que a novidade é um dos requisitos necessários à proteção dos resultados de pesquisas pelos institutos de propriedade industrial, e, por consequência, a sua manutenção em sigilo até a adoção dos procedimentos legais pertinentes é indispensável para a obtenção da proteção almejada; e

Considerando, ainda, o disciplinado pelo ordenamento jurídico brasileiro, em especial pela Lei nº 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), Lei nº 9.609/98 (Lei de Programa de Computador), Lei nº 9.610/98 (Lei de Direitos Autorais), Lei nº 10.973/04 (Lei de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005) e Lei Complementar nº 1.049/08 (Lei Paulista de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 54.690, de 18 de agosto de 2009);

firma o EXAMINADOR o presente Termo de Sigilo, nas condições a seguir:

CLÁUSULA PRIMEIRA. O EXAMINADOR compromete-se a manter sigilo em relação a qualquer "Informação Confidencial" a que tiver acesso no exercício de suas atividades de membro de banca examinadora constituída para análise da dissertação intitulada "**Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção**" pelo mestrando **Paulo Henrique Silva Monteiro**, da Unidade Campus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

CLÁUSULA SEGUNDA. A expressão "Informação Confidencial" abrange toda a informação relativa às pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação a que o EXAMINADOR tenha acesso, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios de comunicação, inclusive eletrônicos.

Parágrafo único. Não será considerada "Informação Confidencial" aquela que estiver sob domínio público antes de ser revelada ou disponibilizada ao EXAMINADOR.

CLÁUSULA TERCEIRA. O presente termo vigorará até que os direitos de propriedade intelectual das pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação estejam devidamente protegidos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI e junto ao Órgão competente em âmbito internacional pela UNESP.

CLÁUSULA QUARTA. Fica eleito uma das varas da Fazenda Pública Estadual, circunscrição judiciária de São Paulo, Capital, para dirimir dúvidas ou litígios oriundos do presente instrumento.

E para todos os efeitos, firma o presente termo na presença das testemunhas abaixo-assinadas.

Documento assinado digitalmente
gov.br EDUARDO NOBREGA PEREIRA LIMA
Data: 25/02/2025 08:30:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

São Paulo, 26 de janeiro de 2025.

Prof. Dr. Eduardo Nóbrega Pereira Lima

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TERMO DE SIGILO PARA MEMBRO DE BANCA EXAMINADORA

Marissa Anabel Rivera Cardona, Brasileira, casada, residente à Rua Voluntários da Pátria, 100, Ap. 602, Bloco C, CEP 22270-010, Botafogo, Rio de Janeiro-RJ, pesquisadora titular, inscrita no CPF/MF sob no 59722100963, portadora da cédula de identidade RG no 11967916-5, doravante denominada EXAMINADOR;

Considerando que a UNESP possui política institucional que visa a proteção legal dos resultados oriundos de suas atividades de pesquisa e desenvolvimento técnico e tecnológico;

Considerando que a novidade é um dos requisitos necessários à proteção dos resultados de pesquisas pelos institutos de propriedade industrial, e, por consequência, a sua manutenção em sigilo até a adoção dos procedimentos legais pertinentes é indispensável para a obtenção da proteção almejada; e

Considerando, ainda, o disciplinado pelo ordenamento jurídico brasileiro, em especial pela Lei nº 9.279/96 (Lei de Propriedade Industrial), Lei nº 9.609/98 (Lei de Programa de Computador), Lei nº 9.610/98 (Lei de Direitos Autorais), Lei nº 10.973/04 (Lei de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005) e Lei Complementar nº 1.049/08 (Lei Paulista de Inovação, regulamentada pelo Decreto nº 54.690, de 18 de agosto de 2009);

firma o EXAMINADOR o presente Termo de Sigilo, nas condições a seguir:

CLÁUSULA PRIMEIRA. O EXAMINADOR compromete-se a manter sigilo em relação a qualquer "Informação Confidencial" a que tiver acesso no exercício de suas atividades de membro de banca examinadora constituída para análise da dissertação intitulada "**Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção**" pelo mestrando **Paulo Henrique Silva Monteiro**, da Unidade Campus de Botucatu, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

CLÁUSULA SEGUNDA. A expressão "Informação Confidencial" abrange toda a informação relativa às pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação a que o EXAMINADOR tenha acesso, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios de comunicação, inclusive eletrônicos.

Parágrafo único. Não será considerada "Informação Confidencial" aquela que estiver sob domínio público antes de ser revelada ou disponibilizada ao EXAMINADOR.

CLÁUSULA TERCEIRA. O presente termo vigorará até que os direitos de propriedade intelectual das pesquisas desenvolvidas no escopo da dissertação estejam devidamente protegidos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI e junto ao Órgão competente em âmbito internacional pela UNESP.

CLÁUSULA QUARTA. Fica eleito uma das varas da Fazenda Pública Estadual, circunscrição judiciária de São Paulo, Capital, para dirimir dúvidas ou litígios oriundos do presente instrumento.

E para todos os efeitos, firma o presente termo na presença das testemunhas abaixo-assinadas.

São Paulo, 12 de dezembro de 2024.

Documento assinado digitalmente
gov.br MARISSA ANABEL RIVERA CARDONA
Data: 12/12/2024 14:52:18-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Marissa Anabel Rivera Cardona

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

TESTEMUNHA

Nome:
CPF:

M775d Monteiro, Paulo Henrique Silva
Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção / Paulo Henrique Silva Monteiro. -- Botucatu, 2025
44 p. : il. + software

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Medicina, Botucatu
Orientadora: Sônia Marta Moriguchi
Coorientador: Rafael Plana Simões

1. Blindagem (Radiação). 2. Medicina Nuclear. 3. Exposição à Radiação. 4. Proteção Radiológica. 5. Software. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Neste projeto foi proposto a criação de *plug-in* para viabilizar a interação direta de *software* de cálculo de radioproteção recém-desenvolvido com base em Microsoft Excel com o *software* gráfico AutoCAD®, que mostrará os níveis de taxa de exposição à radiação diretamente na planta baixa, com atualização em tempo real, baseado na mudança de elementos da planta/fontes radioativas diretamente no *software* gráfico, eliminando fontes de erro de transcrição manual repetida dos dados, agilizando o uso e permitindo rápida visualização de áreas com radiação prevista acima dos limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN ou, com a configuração correta, pela Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA e outros órgãos internacionais, permitindo internacionalização do seu uso.

Inicialmente pensado apenas para Medicina Nuclear (MN), os usos se estendem, na verdade, para todas as instalações radiativas. Por hora, foram incluídas funcionalidades de cálculo para radiologia convencional (tomografia computadorizada) e radioterapia.

É um projeto inédito, pois até o momento do fechamento deste manuscrito não se tem ciência de *software* que tenha a mesma funcionalidade, possivelmente pela menor demanda de mercado, e pela maior complexidade envolvida em se trabalhar com fontes multi-isótopo. Existem *softwares* comerciais que operam em escala menor (MercurRAD®, Microshield®), ou apenas para instalações de radiologia convencional (RadShield). Atualmente, tais cálculos são realizados manualmente para cada instalação de MN, processo caro e demorado e com retrabalho constante, refeitos a cada reforma ou alteração das atividades da instalação. De fato, o processo demora cerca de um dia utilizando somente o *software* Excel, passando a demorar algumas horas com a interface gráfica integrando o AutoCAD® e Excel.

- PÚBLICO ALVO: Todas as instalações radiativas, mundialmente.

-ABRANGÊNCIA: Ampla. Só no Brasil, a CNEN registra 805 empresas da área médica com instalações radiativas, sendo 475 da área de MN (Fonte:

<https://appasp2019.cnem.gov.br//seguranca/cons-ent-prof/entidades-aut-cert.asp> - 27 de janeiro de 2025).

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This project has proposed the creation of a plug-in to enable direct interaction between a recently developed radiation protection calculation software based on Microsoft Excel and the AutoCAD® graphics software, which will display radiation exposure rate levels directly on the floor plan, with real-time updates based on changes in plant elements/radioactive sources directly in the graphics software, eliminating sources of error from repeated manual transcription of data, streamlining use and allowing rapid visualization of areas with predicted radiation above the limits established by the National Nuclear Energy Commission (or, with the correct configuration, by the International Atomic Energy Agency and other international bodies, allowing for the internationalization of its use).

Initially intended only for Nuclear Medicine (NM), its uses actually extend to all radiation facilities. For now, calculation functionalities for conventional radiology (computed tomography) and radiotherapy have been included.

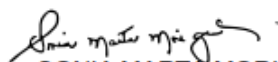
This is an unprecedented project. To date, there is no known software that has the same functionality, possibly due to lower market demand and the greater complexity involved in working with multi-isotope sources. There are commercial software programs that operate on a smaller scale (MercuRAD®, Microshield®), or only for conventional radiology facilities (RadShield). Currently, such calculations are performed manually for each nuclear medicine installation, an expensive and time-consuming process that requires constant rework, with each renovation or change of installation activities. In fact, the process takes about a day with Excel software alone, and can take a few hours with the graphical interface integrating AutoCAD® and Excel.

- TARGET AUDIENCE: All radioactive installations, worldwide.

- SCOPE: Broad. In Brazil alone, the National Nuclear Energy Commission has about 805 health companies with radiation installations registered, 475 of which work with nuclear medicine. (Source: <https://appasp2019.cnen.gov.br//seguranca/cons-ent-prof/entidades-aut-cert.asp> - Jan 27, 2025).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE PAULO HENRIQUE SILVA MONTEIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (BIOTECNOLOGIA MÉDICA), DA FACULDADE DE MEDICINA - CÂMPUS DE BOTUCATU.

Aos 26 dias do mês de fevereiro do ano de 2025, às 16h, no(a) Via sistemas de videoconferência e outras ferramentas para comunicação a distância, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de PAULO HENRIQUE SILVA MONTEIRO, intitulada **Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagem para fins de radioproteção**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. SONIA MARTA MORIGUCHI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Depto. de Infectologia, Dermatologia, Diagnóstico por Imagem e Radioterapia / FM/Botucatu - Unesp, Profa. Dra. MARISSA ANABEL RIVERA CARDONA (Participação Virtual) do(a) Divisão de Aplicações Médicas e de Pesquisa / Comissão Nacional de Energia Nuclear, Prof. Dr. EDUARDO NÓBREGA PEREIRA LIMA (Participação Virtual) do(a) Depto de Imagem / Hospital do Câncer A C Camargo. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: _ _ _ APROVADO _ _ _ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. SONIA MARTA MORIGUCHI

Documento assinado digitalmente
 SONIA MARTA MORIGUCHI
Data: 11/03/2025 23:00:13 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**À minha esposa Raiza, por ser a minha razão de ser e de continuar me
aprimorando.**

AGRADECIMENTOS

À Profa. Associada Sônia Marta Moriguchi, que me incluiu em sua trajetória e foi fundamental para minha carreira profissional que nos trouxe este trabalho. Obrigado por sempre acreditar e confiar em mim, e por toda a ajuda na navegação pelos corredores do mundo acadêmico.

À Raiza, minha esposa, que participou da minha carreira e vida, sempre me apoiando em todos os aspectos de nossa vida juntos. Obrigado por tudo.

Ao Eduardo Tinóis da Silva, parceiro nesta empreitada, cujo trabalho na ISTRAD foi a inspiração para este projeto. Sem ele este projeto não existiria.

Ao Professor Rafael Plana Simões pela contribuição, co-orientação e disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos e recursos.

À minha mãe Walkíria e meu pai Paulo Roberto que me incentivaram desde pequeno a estudar e se sacrificaram muito para permitir acesso ao melhor conhecimento e escolas.

Ao meu irmão Gabriel por me incentivar e me ajudar a me manter centrado durante a minha vida.

Aos meus amigos Dilma e Nilton que me ajudaram a lançar a minha carreira em medicina nuclear e sempre foram amigos além de companheiros de jornada.

Aos meus amigos e médicos nucleares que foram meus colegas ao longo desses anos de jornada na medicina nuclear. São muitas pessoas queridas, não relacionarei os nomes para não deixar nenhum sem ser citado, mas quero que saibam disso.

A todos os profissionais e amigos que compartilham nossas jornadas.

“Da desorganização, ache a simplicidade. Da discórdia, ache a harmonia. Em meio à dificuldade, se encontra a oportunidade”

Albert Einstein

"O sucesso não é final, uma falha não é fatal: É a coragem para continuar que conta."

-Winston Churchill

RESUMO

Para a operação segura de instalações radiativas, é necessário a realização de cálculos visando a otimização das blindagens da instalação, de forma a manter a exposição à radiação dentro dos níveis previstos pelas agências regulatórias. Infelizmente, diferentemente de outros projetos de natureza de desenho arquitetônico e de engenharia, a realização do memorial de blindagem ainda se encontra na era pré-desenho assistido por computador (CAD), tornando esse tipo de projeto de difícil realização, com dificuldade exponencializada pelo fato de ter de ser totalmente refeito cada vez que a instalação radiativa tem mudança em sua estrutura ou mesmo em sua operação.

Em parceria com o projeto de doutorado desenvolvido por Eduardo Tinóis da Silva, intitulado *Desenvolvimento de ferramenta para cálculo de modelo de blindagem em instalações de Medicina Nuclear*, que criou planilha de Excel para realização automatizada dos cálculos, e desenvolvido em parceria com a ISTRAD Consultoria em Radioproteção LTDA (De nome empresarial: Amorimtinois Serviços de Segurança e Tecnologia em Radiações Ltda ME), empresa de Eduardo Tinóis da Silva, este projeto vem trazer o cálculo de memorial de blindagem para a era CAD, fornecendo extensões para o AutoCAD® que interagem diretamente com o *software* de cálculo desenvolvido pelo parceiro, retirando a necessidade de digitação de todos os dados manualmente e permitindo visualização direta das taxas de exposição em toda a planta baixa.

Tais *scripts* foram criados através da linguagem programática AutoLISP, criada pela Autodesk, empresa criadora do AutoCAD®, de uso gratuito.

Palavras-chave: Blindagem (Radiação), Medicina Nuclear, Exposição à radiação, Proteção radiológica, Software

Título resumido: Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de radioproteção

ABSTRACT

For the safe operation of radioactive facilities, it is necessary to carry out calculations aimed at optimizing the installation's shielding, in order to keep radiation exposure within the levels expected by regulatory agencies. Unfortunately, unlike other architectural and engineering design projects, the writing out of “shielding inventory” documentation is still in the pre-computer-aided design (CAD) era, making this type of project difficult to carry out, with the difficulty exponentially increased by the fact that it has to be completely redone each time the radioactive facility undergoes changes in its structure or even in its operation. In partnership with Eduardo Tinóis da Silva's doctoral project, entitled “Development of a tool for calculating shielding models in Nuclear Medicine facilities”, which created an Excel spreadsheet for automated calculations, and developed in partnership with ISTRAD Consultoria em Radioproteção LTDA (Whose registered name is Amorimtinois Serviços de Segurança e Tecnologia em Radiações Ltda ME), a company owned by Eduardo Tinóis da Silva, this project aims to bring shielding memorial calculations into the CAD era, providing extensions for AutoCAD® that interact directly with the calculation software developed by the partner, eliminating the need to manually type all data and allowing direct visualization of exposure rates across the entire floor plan.

These scripts were created using the AutoLISP programmatic language, created by Autodesk, the company that created AutoCAD®, which is free to use.

Key words: Radiation shielding, nuclear medicine, radiation exposure, software, radiological protection

Summarized title: Development of a Graphical User Interface for radiological protection calculations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Atividade e radiofármaco administrado por procedimento em Medicina Nuclear	15
Figura 2.	Exemplos de radionuclídeos com as respectivas meia-vidas físicas	16
Figura 3.	Equipamentos de diagnóstico por imagem no país	23
Figura 4.	Ciclo de operação: Operador coloca os objetos (fontes, alvos e paredes) no AutoCAD®. O operador ativa nosso software, a interface, que transcreve estes dados ao Excel, e opera as macros do Excel em background para maior rapidez. O Operador utiliza a extensão SOLVER do Excel para os cálculos finais de dose no alvo. Por último, o Operador reativa a interface, que repassa os dados para o AutoCAD® e sinaliza os alvos que estão recebendo dose correta ou não, repetindo-se o ciclo conforme necessário.	24
Figura 5.	Barra de ferramentas customizada no AutoCAD®, com acesso fácil aos <i>scripts</i> criados para o projeto	28
Figura 6.	Maquete demonstrativa de alvos com valores de taxa de exposição, representados por círculos acima (vermelho) e abaixo (verde) do limiar regulatório previsto pelo <i>script</i> . O círculo amarelo representa uma fonte radioativa, e as linhas representam paredes	29
Figura 7.	Maquete demonstrativa com novo alvo, criado em cor azul, como medida de segurança indicando <i>alvo</i> novo, ainda sem exposição calculada pela planilha do Excel	30
Figura 8.	Planilha de Alvos. A primeira coluna se refere à fonte que irradia o alvo diretamente. A segunda coluna se refere ao número de identificação do objeto, determinado pelo usuário, para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. A seguir vem as coordenadas do objeto, sua	31

classificação (se representa área controlada ou livre), seu limite de dose, seu fator de ocupação e a última coluna representa o quociente das duas colunas anteriores (limiar de dose dividido por fator de ocupação).

Figura 9. Valores de Fator de Ocupação recomendados pela CNEN 32
para cargas horárias de trabalho de 8h.

Figura 10. Planilha de Fontes. A primeira linha se refere ao número de 32
identificação do objeto, determinado pelo usuário, para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. “DEPENDÊNCIA” se refere ao local onde se encontra a fonte. Daí vêm as coordenadas cartesianas, e as demais linhas se referem aos diferentes isótopos e/ou energias liberadas pela fonte

Figura 11. Planilha de Paredes. A primeira coluna se refere ao número 33
de identificação do objeto, determinado pelo usuário para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. “ESPESSURA” se trata da espessura da parede, em seguida vem as coordenadas cartesianas do objeto (do seu ponto inicial e final, e altura, no caso), “DEPENDÊNCIA” se refere ao local onde se encontra a fonte, “Face” se refere à orientação da parede (não utilizada no cálculo no momento) e “Material” se refere ao material utilizado na parede (no caso: TVL - camada deci-redutora, Pb: chumbo e CONC: concreto) - essencial ao cálculo, já que esse valor se traduz, no *software* de cálculo, à tanto a atenuação que o material fornece por volume, quanto até a eventual aumento de radiação a depender da radiação inicial a atingi-lo.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPM *American Association of Physicists in Medicine*

AC Autorização para Construção

ALARA *As low as reasonably achievable*

B Fator de Transmissão

CNEN Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNSC *Canadian Nuclear Safety Commission*

CT *Computed Tomography*

¹⁸F Flúor-18

FO Fator de ocupação

⁶⁷Ga Gálio-67

⁶⁸Ga Gálio-68

¹²³I Iodo-123

¹³¹I Iodo-131

IAEA *International Atomic Energy Agency*

IOE Indivíduo Ocupacionalmente Exposto ou Indivíduos Ocupacionalmente Expostos

keV Quilo Elétron-volt (unidade de energia)

LD Limite de Dose

¹⁷⁷Lu Lutécio-177

MN Medicina Nuclear

MVP	<i>Minimal Viable Product</i>
NCRP	<i>National Council on Radiation Protection and Measurements</i>
NM	<i>Nuclear Medicine</i>
PET	<i>Positron Emission Tomography</i>
PET/CT	<i>Positron Emission Tomography with Computed Tomography</i>
RF	Radiofármaco
RI	Radioisótopo
¹⁵³ Sm	Samário-153
SBMN	Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear
SMN	Serviço de Medicina Nuclear
SPECT/CT	<i>Single Photon Emission Tomography with Computed Tomography</i>
²⁰¹ Tl	Tálio-201
^{99m} Tc	Tecnécio-99 metaestável
VLIDE	<i>Visual LISP Editor</i>
W	Carga de trabalho (<i>Workload</i>)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. A medicina nuclear	14
1.2. Proteção radiológica	16
1.3. <i>Computer Aided Design</i> e extensões	19
2. JUSTIFICATIVA	21
2.1. Aplicabilidade, público alvo e abrangência	22
3. OBJETIVOS	23
Objetivo Principal - Produção tecnológica	23
Objetivos Específicos	24
4. METODOLOGIA	26
4.1. Criação de objetos	27
4.2. Extração de objetos	27
4.3. Recálculo	27
4.4. Edição manual dos dados	27
4.5. Coloração automática dos alvos	27
5. RESULTADOS	28
5.1. Interface Gráfica	28
5.2. Caso Teste (AutoCAD®)	28
5.3. Caso Teste (Excel)	30
6. DISCUSSÃO	34
6.1. Limitações e dificuldades	34
6.2. Análises comparativas	36
6.3. Ganhos esperados	36
7. CONCLUSÕES	38
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
9. ANEXOS	43
9.1. Anexo 1. Documento Comprobatório do Produto Gerado	43
9.2. Anexo 2. Termo de Dispensa Ética	44

1. INTRODUÇÃO

1.1. A medicina nuclear

A medicina nuclear (MN) é uma especialidade médica com aplicações diagnósticas e terapêuticas que utiliza radiação ionizante na sua prática diária. Consiste em aplicar uma dose de substância denominada radiotraçador ou radiofármaco, que aqui, genericamente, será denominada de radiofármaco (RF), usualmente uma molécula orgânica ligada, muitas vezes por agente quelante, a um átomo radioativo⁽¹⁾.

Para finalidade diagnóstica, o paciente no qual foi administrado o RF é posicionado à frente de um equipamento detector de radiação, denominado câmera de cintilação ou gama câmera, ou um equipamento híbrido como PET/CT (tomografia por emissão de pósitrons somada à tomografia computadorizada convencional) ou SPECT/CT (tomografia por emissão de fóton único somada à tomografia computadorizada convencional), para mapeamento da distribuição espacial do RF no paciente⁽¹⁾, sendo utilizadas várias vias de administração, para diferentes procedimentos.

Para finalidade terapêutica, o paciente recebe dose do RF com o intuito de destruição das células às quais o RF se liga, geralmente às neoplasias, mas não exclusivamente, podendo haver inclusive necessidade de isolamento com finalidade de proteção radiológica das pessoas do seu entorno^(2,3), pois na MN os pacientes são as fontes radioativas. À exceção de áreas controladas onde é feita a manipulação (*sala quente*) e a administração do RF, onde há maior blindagem, o RF permanece dentro do paciente, ou seja, não selado, sendo grande parte da exposição à radiação no SMN oriunda dos próprios pacientes. Portanto, na MN se trabalha com fontes ditas não seladas, em contraste com as fontes seladas de radiação ionizante como, por exemplo, as fontes de cobalto radioativo empregadas em aparelhos de radioterapia mais antigos, e geradores de radiação ionizante utilizados na radioterapia e radiologia (tomógrafos, aparelhos de raio-X planar de várias configurações e mesmo equipamentos híbridos como o PET/CT)⁽⁴⁾.

Naturalmente, as dependências do Serviço de Medicina Nuclear (SMN) ocupadas ou não pelos pacientes aos quais foi administrado o RF são frequentadas por Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE), ou seja, os trabalhadores envolvidos na realização dos procedimentos de MN. Dessa forma, as paredes que formam as

dependências de um SMN são utilizadas com a função de blindagem, visando reduzir os níveis de radiação provenientes da fonte do outro lado da parede para os níveis considerados seguros, definidos pelos limites de dose estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) em sua Norma 3.01⁽⁵⁾. A Norma 3.05⁽⁶⁾ estabelece as dependências obrigatórias de acordo com o conjunto de procedimentos que o SMN realizará.

Outra diferença em relação à radiologia convencional é a multiplicidade de isótopos utilizados para várias funções, com energias e tempos de meia vida distintos. As Figuras 1 e 2 apresentam dados da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN)⁽⁷⁾ sobre procedimentos realizados em MN e os RF e radioisótopos utilizados.

ASPIRAÇÃO PULMONAR* (JUNTO COM O RGE)	ESTANHO	Tc99m	37
CINT.C/GALIO 67	Ga67	Ga67	185
CINT.COM ANALOGO DE SOMATOSTATINA	OCTREOTIDEO	Tc99m	925
CINT.DA PARATIREÓIDE	SESTAMIBI	Tc99m	370
CINT.DAS GLÂNDULAS SALIVARES	Tc99m LIVRE	Tc99m	370
CINT.DO FIGADO E BAÇO	ESTANHO	Tc99m	555
CINT.E/OU CAPTAÇÃO DE TIREÓIDE (99M TC)	Tc99m LIVRE	Tc99m	296
CINT.FÍGADO E VIAS BILIARES	DISIDA	Tc99m	555
CINT.ÓSSEA	MDP	Tc99m	1110
CINT.PULMONAR (INALAÇÃO)	DTPA	Tc99m	925
CINT.PULMONAR (PERFUSÃO)	MAA	Tc99m	185
CINT.RENAL (QUANT. OU QUAL)	DMSA	Tc99m	185
CINTILOGRAFIA DO MIOCARDIO PERFUSAO-REPOUSO	MIBI	Tc99m	370
CINTILOGRAFIA DO MIOCARDIO PERFUSAO-STRESS	MIBI	Tc99m	1110
CISTOCINTILOGRAFIA DIRETA	Tc99m LIVRE	Tc99m	37
CISTOCINTILOGRAFIA INDIRETA	Tc99m DTPA	Tc99m	740
DACRIOCINTILOGRAFIA	Tc99m LIVRE	Tc99m	37
DIVERTÍCULO DE MECKEL	Tc99m LIVRE	Tc99m	740
ESTUDO RENAL DINÂMICO	DTPA	Tc99m	740
ESTUDO RENAL DINÂMICO C/DIURÉTICO	DTPA	Tc99m	740
ESVAZIAMENTO GÁSTRICO	Tc99m ESTANHO	Tc99m	37
FLUXO SANGUÍNEO ÓSSEO	MDP	Tc99m	1110
HEMORRAGIAS NÃO ATIVAS	PIROFOSFATO	Tc99m	740
IMAGEM DE MIBG	MIBG	I123	222
LINFOCINTILOGRAFIA	FITATO	Tc99m	37
PERFUSÃO CEREBRAL (ECD)	ECD	Tc99m	1110
PESQUISA DE METÁSTASE CORPO TOTAL COM MIBG (131 I)	I131 LIVRE	I131	111
REFLUXO GASTRO-ESOFÁGICO	ESTANHO	Tc99m	11,1
TRATAMENTO HIPERTIREOIDISMO (PLUMMER)	I131 LIVRE	I131	555
TRATAMENTO HIPERTIREOIDISMO (GRAVES)	I 131 LIVRE	I131	1110
TRATAMENTO DE CÂNCER DE TIREOIDE	I 131 LIVRE	I131	3700 A 7400 (média 4440)
LUTÉCIO	PSMA	Lu177	7400
PET/CT	FDG	F18	370
Sinovectomia radioisotópica	HA-Y90	Y-90	185
Radiomembolização com microesferas	Y-90	Y-90	3700
TÁLIO	Tl-201	Tl201	111

Figura 1: Atividade e radiofármaco administrado por procedimento em Medicina Nuclear.

RADIONUCLÍDEO	SÍMBOLO	MEIA-VIDA FÍSICA
Tecnécio 99 Metaestável	^{99m}Tc	6 horas
Gálio 67	^{67}Ga	78 horas
Iodo 123	^{123}I	13 horas
Iodo 131	^{131}I	8,04 dias
Samário 153	^{153}Sm	1,95 dias
Lutécio 177	^{177}Lu	6,73 dias
Tálio 201	^{201}Tl	73 horas
Flúor 18	^{18}F	109,8 minutos
Gálio 68	^{68}Ga	69 minutos

Figura 2: Exemplos de radionuclídeos com as respectivas meia-vidas físicas.

Para a maioria dos exames da chamada MN convencional (não baseada em PET/CT) utiliza-se o tecnécio-99 metaestável (tecnécio-99m), que possui fotopico na energia de 140 keV. Também são utilizados, por exemplo, isótopos como o tálio-201, gálio-67 e iodo-123 para aplicações em cardiologia, neurologia e oncologia⁽¹⁾.

Com o PET (*Positron Emission Tomography*), tem-se uma gama de novos traçadores, como o ^{18}F e o ^{68}Ga , todos os quais geram fótons (equivalente à radiação gama) com fotopico de 511 KeV após aniquilação de seus pósitrons, bem maior que a do tecnécio-99m⁽¹⁾.

Para terapias, tem-se RF alfa e beta-emissores como o iodo-131 (^{131}I), PSMA marcado com lutécio-177 (^{177}Lu -PSMA) e EDTMP marcado com samário-153 (^{153}Sm -EDTMP)^(1,2,3), entre outros.

1.2. Proteção radiológica

Um dos pilares que sedimentam a proteção radiológica são as blindagens da estrutura física e também do material radioativo. Outro é o distanciamento entre a fonte radioativa e o “alvo” que a recebe, seja uma área ou pessoa e, por fim, o tempo de exposição⁽⁶⁾.

Cuidados de radioproteção são rigidamente regulamentados por normas nacionais e internacionais, como as Normas 3.05 e 6.02 da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, que tratam das Normas de radioproteção e licenciamento de SMN, visando a menor exposição possível, tanto ao paciente como em profissionais que atuam e, também, ao público geral, através do princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*)^(6,7,8,9).

Cálculos de blindagens, no Brasil conhecidos como memorial de blindagem, visando a segurança radiológica são realizados constantemente para cada instalação radiativa e enviados ao órgão regulador para as instalações do grupo 6 (as que possuem maior uso de radiação, incluindo a maioria das instalações que utilizam PET/CT) e de instalações de grupos 4 e 5 que estejam a se tornar instalações de grupo 6^(9,10,11).

Apesar de sempre serem feitos os cálculos de memorial de blindagem, nas instalações de SMN grupo 6, o cálculo e envio do memorial de blindagem é realizado não só ao momento do ofício para autorização de construção (AC), mas a cada variação da quantidade de material radioativo recebido ou utilizado, do número previsto de pacientes injetados e da alteração da infraestrutura de uma instalação. A exposição radioativa é multifatorial e dependente de muitas variáveis, como por exemplo, o processo de *Build-up*, no qual uma blindagem inadequada por amplificar a quantidade de radiação recebida pelos IOE e público, as diferentes modalidades de radiação advindas de cada isótopo (alfa, beta, gama e raio X) e suas diferentes interações com a matéria (efeito *Compton*, efeito fotoelétrico, radiação de freamento, etc) tornando esse cálculo extremamente complexo^(4,9,10,11).

Como explanação rápida das diferentes radiações e interações com a matéria, temos que o decaimento alfa ocorre tipicamente em isótopos pesados com número atômico superior a 82. Neste processo, o núcleo emite uma partícula alfa, que consiste em dois prótons e dois nêutrons, idêntica ao núcleo de hélio-4. Quando interagem com a matéria, as partículas alfa perdem energia rapidamente através de ionização, percorrendo apenas alguns centímetros no ar e sendo facilmente detidas por uma folha de papel. Exemplos de emissores alfa incluem urânio-238, tório-232, rádio-223 e polônio-210⁽⁴⁾.

Já o decaimento beta acontece em isótopos com desequilíbrio entre prótons e nêutrons. No decaimento beta-menos, comum em núcleos com excesso de nêutrons, um nêutron converte-se em um próton, emitindo um elétron (partícula beta) e um antineutrino. Por vezes em núcleos com excesso de prótons, um próton converte-se em um nêutron, emitindo um pósitron (partícula beta com carga positiva) e um neutrino. As partículas beta possuem maior poder de penetração que as alfa, podendo atravessar alguns milímetros de alumínio. Durante a desaceleração de partículas beta em um material, pode ocorrer a produção de radiação de freamento (*bremsstrahlung*),

onde a energia cinética perdida pela partícula carregada é convertida em fótons de raios-X. Este fenômeno é especialmente importante em materiais de alto número atômico. Isótopos como carbono-14 e estrôncio-90 são emissores beta, assim como o iodo-131, RF de uso rotineiro na MN, enquanto sódio-22 e flúor-18 são emissores de pósitron⁽⁴⁾, este último muito usado no PET/CT.

Por último, o decaimento gama ocorre quando o núcleo está em estado excitado, sem partículas extras. A radiação gama consiste em fótons de alta energia (radiação eletromagnética) sem massa ou carga. Quando a radiação gama interage com a matéria, pode ocorrer o efeito fotoelétrico, no qual o fóton transfere toda sua energia para um elétron orbital, ejetando-o do átomo. Este efeito predomina em baixas energias e materiais de alto número atômico. Em energias intermediárias ou blindagens parciais, prevalece o efeito Compton, onde o fóton transfere parte de sua energia para um elétron, sendo espalhado com menor energia, exigindo barreiras densas como chumbo ou concreto para sua atenuação efetiva. O tecnécio-99m, amplamente utilizado em MN, é um emissor gama puro com energia de 140 keV. Outros exemplos incluem cobalto-60 e césio-137, que emitem radiação gama após decaimento beta⁽⁴⁾.

Para falarmos do histórico dos cálculos de radioproteção, iniciaremos com o NCRP Report No.49, que foi publicado pelo *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) dos Estados Unidos em 1976⁽¹²⁾. Este estabeleceu um método para realizar cálculos de blindagem, que consiste em determinar a carga de trabalho (W), ou seja, a dose gerada a um metro de distância da fonte, os alvos além das barreiras (indivíduos do público ou IOE – que determinarão o Limite de Dose (LD)) e o fator de ocupação (FO, que estima a fração do tempo em que a posição do alvo estará ocupada.

Assim, determina-se o fator de transmissão (B), que representa a fração de radiação que pode atravessar a barreira e consultam-se tabelas para determinar a espessura necessária do material escolhido.

Em 2004, para aprimorar essa metodologia para serviços de radiologia, o NCRP publicou o *Report No.147*⁽¹³⁾, que utiliza o Método de Archer⁽¹⁴⁾ para determinar a espessura da barreira. Essa equação considera o espectro do feixe de raio-X e a

natureza do feixe (primário direto, primário sobre barreira, secundário direto, secundário espalhado e fuga).

O primeiro trabalho para sistematizar esses cálculos para MN foi publicado pela *American Association of Physicists in Medicine* (AAPM)⁽¹⁵⁾, que utilizou o Método de Archer com parâmetros obtidos por Monte Carlo para gamas de 511 KeV. Posteriormente, a Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) publicou um guia⁽¹⁶⁾ em 2010 para facilitar os cálculos de blindagem em SMN que utilizam diversos isótopos em MN convencional. O documento propõe um método aproximado para calcular W com base na atividade média de radiofármaco (RF) injetada por paciente e no tempo médio que o paciente injetado permanece na dependência.

Em fontes multi-isótopo, calcula-se a blindagem pelo RI de maior penetração ou incluindo a carga de trabalho de RI de maior energia na carga de trabalho de RI de menor energia, quando representam uma fração menor da carga total.

Kusano e Caldwell ⁽¹⁷⁾ em 2014, e em 2018, Soares⁽¹⁸⁾ publicaram trabalhos visando a melhorar o cálculo de blindagens para a MN, respectivamente incluindo tabelas de atenuação para o Método de Archer que consideram o fenômeno Build-Up (Aumento da radiação total ao alvo por blindagem inadequada⁽⁴⁾), e incluindo o método de Monte Carlo, assim estimando taxas de dose para diversos RF e sugerindo o cálculo da espessura necessária para cada conjunto carga de trabalho-radiofármaco.

1.3. Computer Aided Design e extensões

Como, efetivamente, o trabalho é realizado com plantas baixas de serviços, torna-se interessante a manipulação direta com Desenho Auxiliado por Computador (*Computer Aided Design- CAD*).

Antes do advento do CAD, os projetos arquitetônicos e de engenharia eram feitos manualmente, com caneta, lápis, ferramentas de desenho e papel.

O trabalho era lento, exigia tempo para ser concluído, tempo demasiado para os dias de hoje, e a precisão dos projetos era limitada pelas ferramentas utilizadas, sem contar custo de mão de obra e até custos prediais para manipular plantas baixas de tamanho muito grande. E claro, qualquer falha ao final do projeto levava tudo

literalmente de volta para a prancheta de desenho⁽¹⁹⁾.

O AutoCAD® foi o primeiro programa CAD significativo para computadores de uso pessoal, lançado em 1983 pela empresa Autodesk, Inc., em 1982, e é utilizado para criar desenhos em duas dimensões (2D), três dimensões (3D) e para desenvolver projetos técnicos precisos e detalhados com rapidez e eficiência. Ele é um dos *softwares* de CAD mais populares do mundo, ferramenta que está no dia a dia de profissionais das áreas de arquitetura, engenharia e *design* é usada em empresas de vários portes, desde pequenas *startups* até grandes corporações⁽²⁰⁾.

Plug-ins, tradicionalmente, são *softwares* separados do programa original, existindo vários no mercado. Um exemplo é o Havok, que oferece simulação de física clássica para programas de desenho 3D, e o V-Ray, permitindo a renderização mais realística de cenas, amplamente utilizados pela indústria de *design*, simulação e animação, dependendo de sua finalidade^(21,22).

O setor de cálculos de blindagem para instalações radiativas de MN ainda se encontra praticamente na era pré-CAD, devido à falta de ferramentas específicas para automação dentro de sistemas CAD. O AutoCAD® e demais ferramentas similares não possuem esta funcionalidade específica, levando à necessidade de criação de *plug-ins* para esta finalidade, alicerçando a razão de desenvolvimento deste projeto.

2. JUSTIFICATIVA

Em 2011, a CNEN revisou a Norma CNEN-NN-6.02, já existente desde julho de 1998, (tendo como sua forma prévia a Norma Experimental “Licenciamento de Instalações Radiativas” de 04/12/1984), reforçando a obrigatoriedade de envio de cálculos de blindagem de uma parcela significativa dos SMN para o órgão regulador, no caso, a própria CNEN⁽⁹⁾.

Como relatado, a ausência de métodos de fácil implementação destes gerou busca por solução robusta, iniciando o processo que culminou no desenvolvimento da solução documentada em projeto parceiro *Desenvolvimento de ferramenta para cálculo de modelo de blindagem em instalações de Medicina Nuclear*, baseada em Microsoft Excel. Na busca pela aproximação à realidade, a utilização do computador foi inevitável, e sua automação com interface gráfica também se tornou inevitável, por trazer grandes ganhos de eficiência na manipulação de dados.

Foi proposto neste projeto a criação de *plug-in* para AutoCAD®, que mostrará as curvas de taxa de exposição à radiação diretamente na planta baixa, com atualização em tempo real baseado na mudança de elementos da planta/fontes radioativas diretamente no *software* gráfico, eliminando fontes de erro de transcrição manual repetida dos dados, agilizando o uso e permitindo rápida visualização de áreas com radiação prevista acima dos limites estabelecidos pela CNEN ou, com a configuração correta, pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e outros órgãos internacionais, permitindo internacionalização de seu uso.

O projeto também almeja acomodar, em atualizações futuras, o desenvolvimento de novos RF, com uso de novos RI, assim como novos usos de radiações ionizantes na medicina em geral.

É um projeto inédito. Até o momento do fechamento deste trabalho não foi encontrado em revisão bibliográfica algum *software* que tenha a mesma funcionalidade. Existem *softwares* comerciais que operam em escala menor (MercuRAD® e Microshield®^(23,24)), mas não no nível de uma instalação inteira, ou que só operam em radiologia convencional (Radshield⁽²⁵⁾), possivelmente pela menor demanda de mercado, e pela maior complexidade envolvida em se trabalhar com fontes multi-isótopo. Atualmente, tais cálculos são realizados manualmente para cada instalação de MN, processo caro e demorado, e refeitos a cada reforma.

2.1 Aplicabilidade, público alvo e abrangência

Este projeto é potencialmente aplicável a todos os serviços médicos que trabalham com radiação, já possuindo capacidade de atendimento a cálculos de radioproteção de serviços de radioterapia, radiografia convencional e MN.

No Brasil, a CNEN registra, atualmente, 805 empresas da área médica com instalações radiativas, sendo 475 da área de MN (dados de 27 de janeiro de 2025). Foram registrados mais de 70.000 equipamentos de diagnóstico por imagem utilizando radiação ionizante de alguma forma no país em 2012. (Figura 3). Não foram encontrados dados atualizados.

Mundialmente, os mercados de radiologia e radioterapia movimentam 7,97 e 4,1 bilhões de dólares anualmente, respectivamente^(26,27).

Código	Equipamentos de Diagnóstico Por Imagem	Existentes	Em Uso
1	Gama Camara	765	730
2	Mamografo com Comando Simples	4013	3832
3	Mamografo com Estereotaxia	912	875
4	Raio X ate 100 mA	7382	6926
5	Raio X de 100 a 500 mA	12712	12149
6	Raio X mais de 500mA	4125	3990
7	Raio X Dentario	47835	43643
8	Raio X com Fluoroscopia	1873	1673
9	Raio X para Densitometria Ossea	2355	2299
10	Raio X para Hemodinamica	948	912
11	Tomógrafo Computadorizado	5224	5052
12	Ressonancia Magnetica	2786	2719
13	Ultrassom Doppler Colorido	16503	16065
14	Ultrassom Ecografo	9912	9584
15	Ultrassom Convencional	16031	15345
16	Processadora de Filme Exclusiva para Mamografia	2817	2737
17	Mamógrafo Computadorizado	983	962
18	PET/CT	110	109
TOTAL		137286	129602

Figura 3: Equipamentos de diagnóstico por imagem no Brasil (Dados de 2012).

Fonte: <https://atomfisicamedica.com/blog/a-fisica-medica-e-os-servicos-de-medicina-nuclear.html>)

3. OBJETIVOS

Objetivo Principal - Produção tecnológica

Criar um *software* (interface gráfica) que permite, com a manipulação direta da planta baixa do serviço em *software* de CAD, automaticamente calcular os dados necessários para cálculo de blindagem de serviços de imagem a partir de informações da planta do serviço e de fontes radioativas previstas para cada ambiente, sendo o cálculo em si feito com base em planilha de Microsoft Excel habilitada para macro (Figura 4).

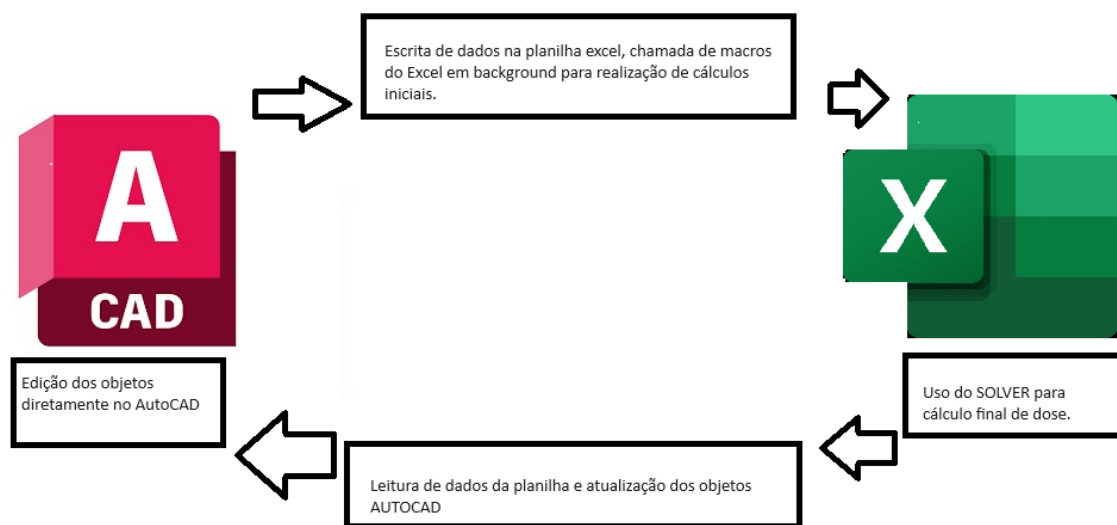


Figura 4. Ciclo de operação: Operador coloca os objetos (fontes, alvos e paredes) no AutoCAD®. O operador ativa nosso *software*, a interface, que transcreve estes dados ao Excel, e opera as macros do Excel em *background* para maior rapidez. O Operador utiliza a extensão SOLVER do Excel para os cálculos finais de dose no alvo. Por último, o Operador reativa a interface, que repassa os dados para o AutoCAD® e sinaliza os alvos que estão recebendo dose correta ou não, repetindo-se o ciclo conforme necessário.

Objetivos Específicos

Tal *software* requer os seguintes componentes (etapas):

3.1. Criação de objetos *inteligentes* no AutoCAD® capazes de reter dados pertinentes à sua função no sistema de radioproteção, diferentemente de objetos comuns, que não contém propriedades fora as necessárias para seu desenho:

3.1.1. Criação de *alvos*: marcadores presentes na planta que tenham

informação da quantidade de radiação presente na área. Opcionalmente, permitir criação seriada de tais marcadores rapidamente para análise rápida de todos os cantos da planta baixa;

3.1.2. Criação de fontes: marcadores presentes na planta que tenham informação da quantidade de irradiação na área, incluindo seu isótopo e atividade;

3.1.3. Criação de paredes: marcadores presentes na planta que tenham informação de blindagem, incluindo coeficiente de atenuação do material utilizado e sua espessura.

3.2. Extração de dados do desenho AutoCAD® para a planilha Microsoft Excel, com criação de novas linhas e atualização de linhas antigas da mesma;

3.3. Comando para recálculo automático por parte da Microsoft Excel;

3.4. Extração de dados da planilha Microsoft Excel para o desenho AutoCAD®, com criação de novos objetos e atualização de linhas antigas da mesma;

3.5. Possibilidade de edição manual dos dados de cada objeto diretamente na planilha;

3.6. Coloração automática dos alvos, indicando se os níveis dos mesmos estão acima ou abaixo dos níveis recomendados pela entidade regulatória;

3.7. Software (planilha de Microsoft Excel habilitada para macro) que faça os cálculos de radioproteção (projeto de doutorado de Eduardo Tinóis da Silva, intitulado *Desenvolvimento de ferramenta para cálculo de modelo de blindagem em instalações de Medicina Nuclear*)

4. METODOLOGIA

Este projeto é parte/parceiro do projeto de doutorado de Eduardo Tinóis da Silva,

intitulado *Desenvolvimento de ferramenta para cálculo de modelo de blindagem em instalações de Medicina Nuclear*, que criou planilha de Excel para realização dos cálculos, e desenvolvido em parceria com a Amorimtinóis Serviços de Segurança e Tecnologia em Radiações Ltda ME, que obteve recentemente Certificado de Registro de Computador na INPI, sob número BR512024004444-2.

Para a criação da interface gráfica, a plataforma utilizada como base para o desenvolvimento de extensões/*plugins* foi a do AutoCAD® por ser a plataforma mais utilizada para projetos arquitetônicos mundialmente e, portanto, dispondo de mais recursos para desenvolvimento de extensões. Especificamente foi utilizado o AutoCAD® 2024, publicado em 28 de março de 2023 pela empresa Autodesk. Foi utilizada sua versão completa, pois algumas versões com menos recursos, como a AutoCAD® LT, não possuem suporte para as funcionalidades necessárias para este projeto.

Foi escolhida a linguagem AutoLISP: linguagem criada a partir da linguagem LISP pela Autodesk a fim de estender a funcionalidade do AutoCAD® 2024⁽²⁸⁾.

De fato, a própria Autodesk já vem disponibilizando algumas funcionalidades pré-prontas utilizando esta linguagem e sua integração com o ActiveX, que foram fundamentais para a realização deste projeto: as funcionalidades XData⁽²⁹⁾.

Com o uso de XData, pode-se adicionar dados relevantes a qualquer entidade (objeto) presente no desenho AutoCAD®, que podem ser então manipulados com o uso de AutoLISP. Infelizmente tal funcionalidade conforme nativamente implementada no AutoCAD® 2024 não é tão abrangente, então foi necessária a criação de ferramenta específica para manipulação manual dos campos XData após sua criação.

Para cada função adicionada ao AutoCAD® 2024 por este projeto foram criados um ou vários scripts AutoLISP, apesar de ser possível a integração de todos numa só biblioteca, o que definitivamente pode ser feito no futuro, foi julgado mais factível a resolução de *bugs* e otimização de código em *scripts* menores.

4.1. Criação de objetos

Para a criação de objetos, foram desenvolvidos *scripts* específicos criando formas de tamanhos e cores pré-definidos, com dados XData anexos, tanto os necessários para

o processamento pela planilha Excel, quanto identificadores únicos.

4.2. Extração de objetos

Para extração de dados do desenho AutoCAD® para a planilha Microsoft Excel, e vice-versa, foram feitos *scripts* para cada tipo de objeto, sendo usadas rotinas ActiveX para a manipulação mais fácil do Excel, e inserida lógica para detecção de objetos através de seus identificadores únicos, evitando a duplicação de objetos na planilha.

4.3. Recálculo

O comando para recálculo automático por parte da Microsoft Excel foi feito utilizando função para chamar *script PowerShell* para forçar recálculo automático de toda a planilha. Contudo, devido à necessidade de uso da extensão SOLVER do Excel para finalização dos cálculos, ainda foi necessário utilizar o Excel nesta etapa.

4.4. Edição manual dos dados

A possibilidade de edição manual dos dados de cada objeto diretamente na planilha teve que ser programada manualmente, não tendo sido encontrado comando nativo para tal no AutoCAD®.

4.5. Coloração automática dos alvos

A coloração automática dos *alvos* foi realizada com base na função acima, lendo o dado de taxa de exposição de cada *alvo* e quociente limiar de dose/fator de ocupação esperado para este alvo e programaticamente trocando sua cor baseado nestes dados.

5. RESULTADOS

Atualmente, já se tem a integração completa com planilha teste baseada na planilha do projeto *Desenvolvimento de ferramenta para cálculo de modelo de blindagem em instalações de Medicina Nuclear*. O projeto encontra-se, portanto, no *status* 1.0, ainda

estando sujeito a atualizações, mas já estando em conformidade com a demanda da empresa parceira.

5.1. Interface Gráfica

Foi criada uma barra de ferramentas customizada dentro do AutoCAD® 2024 (Figura 5), com as funções de atualizar tanto o *software* de cálculo do Excel quanto o AutoCAD®, criar os objetos trabalhados pelo *software* de cálculo (paredes, alvos e fontes), criar uma matriz de alvos para checagem ponto-a-ponto da planta, e interação manual com os dados presentes nos objetos.

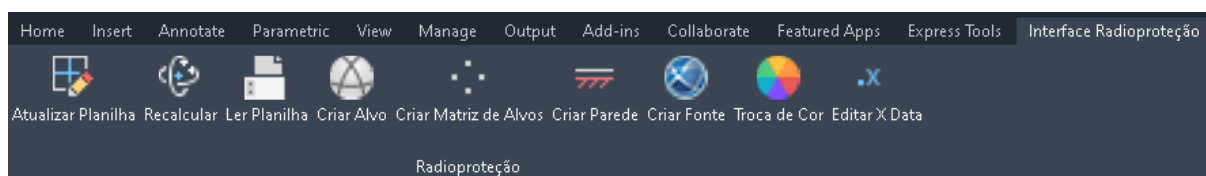


Figura 5. Barra de ferramentas customizada no AutoCAD®, com acesso fácil aos *scripts* criados para o projeto.

5.2. Caso Teste (AutoCAD®)

Tem-se aqui uma maquete demonstrativa em AutoCAD®, com criação e coloração de objetos inteligentes onde os círculos vermelhos e verdes representam pictograficamente *alvos* (de dimensões reais puntiformes), com valores de taxa de exposição acima (vermelho) e abaixo (verde) do limiar regulatório previsto pelo *script*. O círculo amarelo representa uma fonte radioativa, e as linhas representam paredes (Figuras 6 e 7).

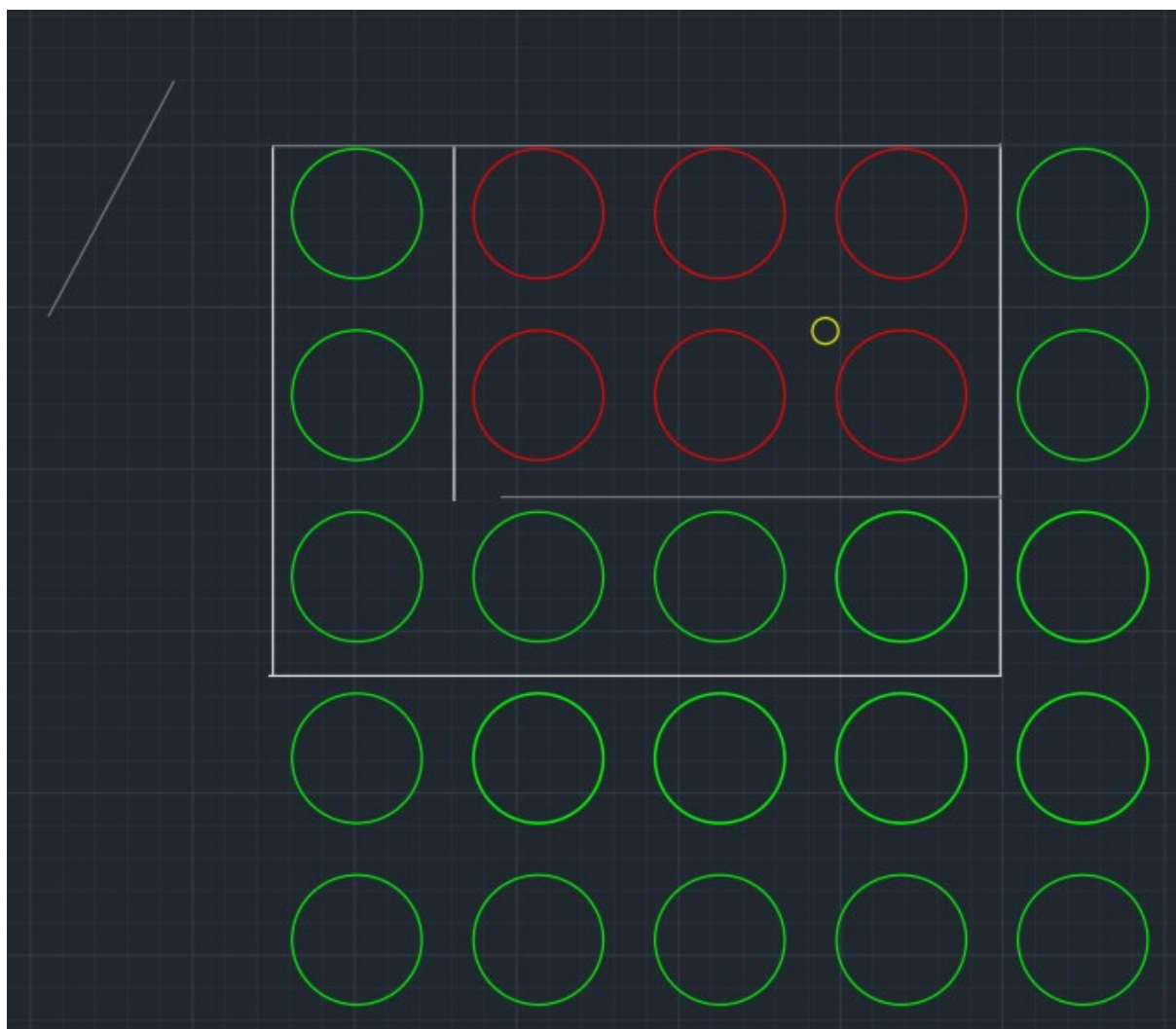


Figura 6. Maquete demonstrativa de *alvos* com valores de taxa de exposição, representados pictograficamente (apesar de representarem coordenadas puntiformes) por círculos acima (vermelho) e abaixo (verde) do limiar regulatório previsto pelo *script*. O círculo amarelo representa uma fonte radioativa, e as linhas representam paredes.

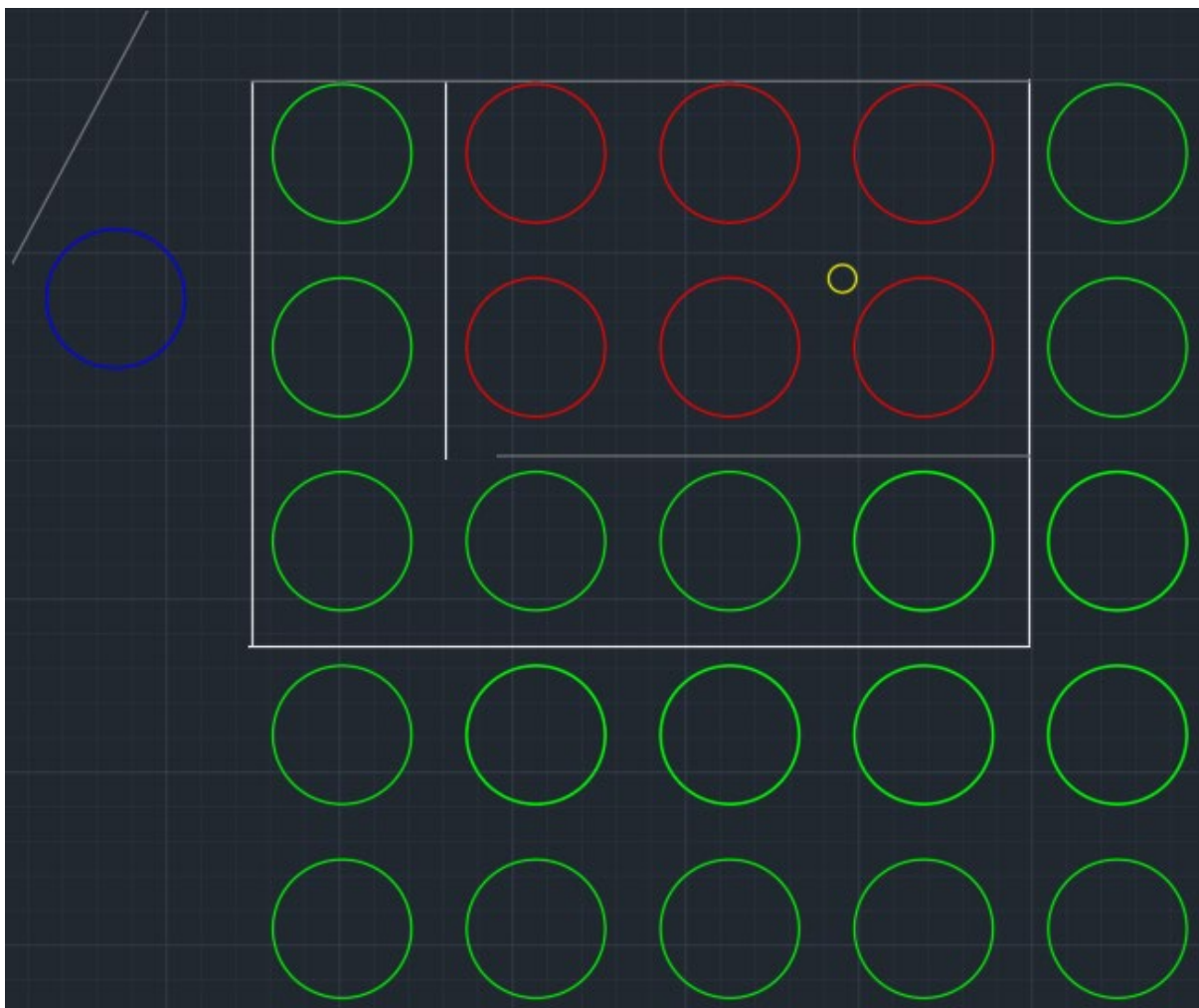


Figura 7. Maquete demonstrativa com novo alvo (criado em cor azul, como medida de segurança indicando *alvo* novo, ainda sem exposição calculada pela planilha do Excel).

5.3. Caso Teste (Excel)

Seguem imagens das planilhas de alvos (Figura 8) (na qual trabalhou-se com a tabela recomendada pela CNEN (Figura 9), que considera carga diária de oito horas e cinco dias por semana), fontes (Figura 10) e paredes (Figura 11), no Microsoft Excel, as quais correspondem, respectivamente, aos dados do caso teste no AutoCAD®, mostrado anteriormente. Em caso de maior horário de ocupação utiliza-se maior fator de ocupação. Por exemplo, quadros em que dosímetros são armazenados devem ser colocados em área que permaneça sendo livre mesmo sendo considerada como fator de ocupação 3 (24h diárias de ocupação)

F1	A(1,1)	6.372558	13.58536	1	PÚBLICO	20	0.025	800
F1	A(1,2)	8.897558	10.93536	1	IOE	100	1	100
F1	A(1,3.P)	7.962558	9.78678	1	IOE	100	1	100
F1	A(1,3.1)	6.372558	9.785355	1	IOE	100	1	100
F1	A(1,4)	5.422558	12.63536	1	IOE	100	1	100
F1	A(1,T)	6.372558	12.63536	4.75	PÚBLICO	20	1	20
F2	A(2,1)	10.39756	11.68536	1	IOE	100	0.2	500
F2	A(2,2)	11.54756	10.53536	1	PÚBLICO	20	0.025	800
F2	A(2,3)	10.39756	7.985355	1	PÚBLICO	20	0.2	100
F2	A(2,4.P)	8.147558	8.920355	1	IOE	100	0.125	800
F2	A(2,4.1)	8.147558	10.53536	1	IOE	100	1	100
F2	A(2,T)	10.39756	10.53536	4.75	PÚBLICO	20	1	20
F3	A(3,1.1)	4.691676	5.472487	1	IOE	100	1	100
F3	A(3,1.2)	6.698866	5.835355	1	IOE	100	1	100
F3	A(3,1.P)	7.412558	5.835355	1	IOE	100	0.125	800
F3	A(3,2)	8.347558	3.457675	1	IOE	100	1	100
F3	A(3,3)	6.698866	1.899995	1	PÚBLICO	20	0.0001	10000
F3	A(3,T.1)	7.547558	3.457675	4.75	PÚBLICO	20	1	20
F3	A(3,T.2)	6.698866	2.699995	4.75	PÚBLICO	20	1	20
F4	A(4,1)	3.934356	5.285355	1	IOE	100	1	100
F4	A(4,3)	3.934356	1.899995	1	PÚBLICO	20	0.0001	20000
F5	A(5,1)	2.896587	5.285355	1	IOE	100	0.0001	100000
F5	A(5,3)	2.896587	5.285355	1	PÚBLICO	20	0.0001	20000
F5	A(5,4)	1.216399	2.799256	1	PÚBLICO	20	0.0001	20000
F4	A(4,T)	3.934356	2.799256	4.75	PÚBLICO	20	0.0001	20000
F5	A(5,T)	2.896587	2.799256	4.75	PÚBLICO	20	0.0001	20000
F6	A(6,1.1)	9.014073	6.330056	1	IOE	100	0.2	500
F6	A(6,1.P)	10.61256	6.335355	1	IOE	100	0.125	800
F6	A(6,2)	11.54756	5.529638	1	PÚBLICO	20	0.2	100
F6	A(6,3)	9.014073	1.899995	1	PÚBLICO	20	0.0001	200000
F6	A(6,4)	7.597558	5.085355	1	IOE	100	0.2	500
F6	A(6,T)	9.014073	5.529638	4.75	PÚBLICO	20	1	20
F7	A(7,1)	3.722558	13.58536	1	PÚBLICO	20	0.025	800
F7	A(7,2.1)	6.172558	10.63554	1	IOE	100	1	100
F7	A(7,2.P)	6.172558	7.810355	1	IOE	100	0.125	800
F7	A(7,3)	3.722558	6.685355	1	IOE	100	1	100
F7	A(7,4)	1.216399	10.63536	1	PÚBLICO	20	0.0001	200000
F7	A(7,T)	3.722558	10.63536	4.75	PÚBLICO	20	1	20

Figura 8. Planilha de Alvos. A primeira coluna se refere à fonte que irradia o alvo diretamente. A segunda coluna se refere ao número de identificação do objeto, determinado pelo usuário, para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. A seguir vem as coordenadas do objeto, sua classificação (se representa área controlada ou livre), seu limite de dose, seu fator de ocupação e a última coluna representa o quociente das duas colunas anteriores (limiar de dose dividido por fator de ocupação).

DEPENDÊNCIA	FO
• Postos de trabalho com ocupação permanente (escritórios, laboratórios, farmácias hospitalares, consultórios, recepções, postos de espera, guarda da enfermagem, espaço para atendentes etc.); • Áreas para guarda/cuidados de crianças; • Nas vizinhanças fora do controle do SMN.	1
• Postos de trabalho com ocupação parcial (devem estar devidamente justificadas); • Leitos hospitalares; • Corredores; • Salas de descanso para os trabalhadores; • Copa.	1/5
• Portas com acesso aos corredores.	1/8
• Sanitários; • Depósitos e almoxarifados; • Áreas externas com local para espera; • Salas de espera para acompanhantes	1/20
• Áreas externas de trânsito (sem ocupação fixa); • Estacionamentos.	1/40

Figura 9. Valores de Fator de Ocupação recomendados pela CNEN para cargas horárias de trabalho de 8h. Fonte: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/drs/orientacoes/Licenciamento-e-Controlde-Instalacoes-Medicina-Nuclear.pdf>.

NOME	F1	F2	F3.1	F3.2	F4
DEPENDÊNCIA	SALA C	SALA D	SALA DE	SALA DE WC	INJ
X	6.373	10.398	7.54756	6.6989	3.9344
Y	12.64	10.535	3.45768	2.7	2.7993
Z	1	1	1	1	1
TC99M:	49.13	58.468	950.843	950.84	44.75
GA67:	0.185	0.183	0.167	0.167	0.083
I123:	0.238	0.326	0.417	0.417	0.127
SM153:	0.146	0.153	1.654	1.654	0.052
LU177:	12.69	6.821	0	0	0.105
TL201:	0.146	0.153	1.654	1.654	0.052
I131:	49.13	58.468	950.843	950.84	44.75
F18/GA68:	0.238	0.326	0.417	0.417	0.127
CT:	0.146	0.153	1.654	1.654	0.052

Figura 10: Planilha de Fontes. A primeira linha se refere ao número de identificação do objeto, determinado pelo usuário, para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. DEPENDÊNCIA se refere ao local onde se encontra a fonte. Daí vêm as coordenadas cartesianas e as demais linhas se referem aos diferentes isótopos e/ou energias liberadas pela fonte.

NOME DA PAREDE	Espessura (cm)	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Xh	Yh	Zh	DEPENDÊNCIA	Face	Material
P(1,1)	0.000	5.7976	13.2104	0.0000	10.4320	13.2104	0.0000	5.7976	13.2104	3.0000	SALA QUENTE	N	Pb
P(1,2.P)	0.000	9.1626	13.2104	0.0000	9.1626	12.2111	0.0000	9.1626	13.2104	3.0000	SALA QUENTE	E	CONC
P(1,2.1)	0.000	9.1626	12.2111	0.0000	9.1626	11.3104	0.0000	9.1626	12.2111	3.0000	SALA QUENTE	E	TVL
P(1,2.2)	0.000	8.5226	11.3104	0.0000	8.5226	9.3204	0.0000	8.5226	11.3104	3.0000	SALA QUENTE	E	CONC
P(1,3.P)	0.000	8.5226	10.1603	0.0000	7.5626	10.1604	0.0000	8.5226	10.1603	3.0000	SALA QUENTE	S	Pb
P(1,3.1)	0.000	7.5626	10.1604	0.0000	5.7976	10.1604	0.0000	7.5626	10.1604	3.0000	SALA QUENTE	S	CONC
P(1,4)	9.000	5.7976	13.2104	0.0000	5.7976	8.4004	0.0000	5.7976	13.2104	3.0000	SALA QUENTE	W	CONC
P(2,1)	0.000	8.5226	11.3104	0.0000	11.7164	11.3104	0.0000	8.5226	11.3104	3.0000	SALA DE INJEÇÃO	N	CONC
P(2,2)	0.000	11.1726	11.3104	0.0000	11.1726	8.3604	0.0000	11.1726	11.3104	3.0000	SALA DE INJEÇÃO	E	Pb
P(2,3)	0.000	11.1726	8.3604	0.0000	8.5226	8.3604	0.0000	11.1726	8.3604	3.0000	SALA DE INJEÇÃO	S	CONC
P(2,4.P)	0.000	8.5226	8.3604	0.0000	8.5226	9.3204	0.0000	8.5226	8.3604	3.0000	SALA DE INJEÇÃO	W	Pb
P(3,1.1)	1.800	1.5914	4.9104	0.0000	4.4996	4.9216	0.0000	1.5914	4.9104	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	N	Pb
P(3,1.2)	15.000	4.4996	4.9216	0.0000	5.3689	5.4604	0.0000	4.4996	4.9216	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	N	CONC
P(3,1.3)	7.000	5.3689	5.4604	0.0000	7.0126	5.4604	0.0000	5.3689	5.4604	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	N	TVL
P(3,1.P)	2.000	7.0126	5.4604	0.0000	7.9726	5.4604	0.0000	7.0126	5.4604	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	N	Pb
P(3,2)	26.000	7.9726	5.9604	0.0000	7.9726	2.2750	0.0000	7.9726	5.9604	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	E	CONC
P(3,3)	0.000	7.9726	2.2750	0.0000	1.5914	2.2750	0.0000	7.9726	2.2750	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	S	Pb
P(3,4)	0.000	1.5914	2.2750	0.0000	1.5914	4.9104	0.0000	1.5914	2.2750	3.0000	SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS	W	CONC
P(6,1.1)	0.600	7.9726	5.9604	0.0000	10.2126	5.9604	0.0000	7.9726	5.9604	3.0000	ERGOMETRIA	N	Pb
P(6,1.P)	0.000	10.2126	5.9604	0.0000	11.1726	5.9604	0.0000	10.2126	5.9604	3.0000	ERGOMETRIA	N	CONC
P(6,2)	0.000	11.1726	5.9604	0.0000	11.1726	2.2750	0.0000	11.1726	5.9604	3.0000	ERGOMETRIA	E	Pb
P(6,3)	0.000	11.1726	2.2750	0.0000	7.9726	2.2750	0.0000	11.1726	2.2750	3.0000	ERGOMETRIA	S	CONC
P(7,1)	0.000	1.5914	13.2104	0.0000	5.7976	13.2104	0.0000	1.5914	13.2104	3.0000	SALA DE EXAMES GAMA	N	Pb
P(7,2.P)	0.000	5.7976	8.4004	0.0000	5.7976	7.0604	0.0000	5.7976	8.4004	3.0000	SALA DE EXAMES GAMA	E	CONC
P(7,3)	0.000	5.7976	7.0604	0.0000	1.5914	7.0604	0.0000	5.7976	7.0604	3.0000	SALA DE EXAMES GAMA	S	Pb
P(7,4)	0.000	1.5914	7.0604	0.0000	1.5914	13.2104	0.0000	1.5914	7.0604	3.0000	SALA DE EXAMES GAMA	W	CONC
P(8,1.P)	0.000	10.4320	13.2104	0.0000	11.7164	13.2104	0.0000	10.4320	13.2104	3.0000	SALA QUENTE	N	Pb
P(8,2)	0.000	11.7164	14.0500	0.0000	11.7164	11.3104	0.0000	11.7164	14.0500	3.0000	SALA QUENTE	E	CONC
P(T,T)	21.000	1.5164	2.2000	3.7500	11.7914	2.2000	3.7500	1.5164	2.2000	3.7500	TODAS (LAJE TETO)	T	CONC

Figura 11. Planilha de Paredes. A primeira coluna se refere ao número de identificação do objeto, determinado pelo usuário para que o sistema sempre saiba de qual objeto se trata. “ESPESSURA” se trata da espessura da parede, em seguida vem as coordenadas cartesianas do objeto (do seu ponto inicial e final, e altura, no caso), “DEPENDÊNCIA” se refere ao local onde se encontra a fonte, “Face” se refere à orientação da paciente (não utilizada no cálculo no momento) e “Material” se refere ao material utilizado na parede (no caso: TVL - camada deci-redutora, Pb: chumbo e CONC: concreto) - essencial ao cálculo, já que esse valor se traduz, no *software* de cálculo, à tanto a atenuação que o material fornece por volume, quanto até a eventual aumento de radiação a depender da radiação inicial a atingi-lo.

6. DISCUSSÃO

Uma representação digital de uma instalação radiativa, com elementos de dados contendo as coordenadas das fontes, dos alvos e das paredes, para servir como parâmetros para o *software* de cálculo foi implementada no aplicativo (que já teve os seus cálculos previamente realizados gerando resultados aprovados pelo órgão regulador), e o projeto já foi avaliado desde o seu início pela empresa parceira, que estima ganhos significativos de tempo com o uso da ferramenta, sem elevação significativa de custos, pois já possuem licença AutoCAD® (que no momento é usada manualmente, sem automação). A representação visual, além da numérica, torna mais claro tais cálculos.

6.1. Limitações e dificuldades

Houve dificuldades na seleção inicial de linguagens, sendo optado pela linguagem AutoLISP apesar de a própria AutoCAD® fornecer outras vias como o .NET framework e a ObjectARX para estender a funcionalidade do AutoCAD®, esta linguagem foi escolhida devido à multitudine de recursos disponíveis^(29,31,32,33) e sua ampla utilização na prática. Os recursos necessários para as funcionalidades pretendidas são de difícil acesso ou implementação em outras linguagens, havendo até casos em que é pagamento de licenças anuais na faixa de 8.000,00 dólares, como a RealDWG, parte da ObjectARX, que tinha sido inicialmente visualizada como ideal para este projeto.

LISP (uma abreviação de *list processing*) é uma família de linguagens de programação, originalmente do final da década de 1950. Muitos dialetos existem e existiram (como o *Common Lisp* e *XLISP*)⁽²⁸⁾. Foi originalmente criada como uma notação matemática para programas de computador, mas se tornou uma linguagem de programação muito usada para pesquisas em inteligência artificial. Como uma das primeiras linguagens de programação, LISP foi pioneira na ciência da computação, incluindo em ideias como estruturas de dados em árvore, gerenciamento automático de armazenamento (*garbage collection*), condicionais, recursão, o *loop* de leitura-avaliação-impressão, etc⁽³⁰⁾.

Já a AutoLISP é um pequeno dialeto de linguagem LISP carente de recursos usuais do LISP como sistema de macro, recursos de definição de registros, matrizes, funções

com número variável de argumentos, etc. Além da linguagem principal, a maioria das funções primitivas são para geometria, acesso ao banco de dados DWG interno do AutoCAD® ou manipulação de entidades gráficas no AutoCAD®. As propriedades dessas entidades gráficas são reveladas ao AutoLISP como listas de associação nas quais os valores são pareados com códigos de grupo do AutoCAD® que indicam propriedades como pontos de definição, raios, cores, camadas, tipos de linha, etc. O AutoCAD® pode ser configurado para carregar o código AutoLISP de arquivos externos de formato .LSP.

O AutoLISP foi derivado de uma versão inicial do XLISP, criado por David Betz. A linguagem foi introduzida no AutoCAD® Versão 2.18 em janeiro de 1986 e continuou a ser aprimorada até o lançamento em 13 de fevereiro de 1995, e hoje sendo tão utilizado que outros fornecedores de aplicativos de CAD o adicionaram aos seus produtos (como Bricscad, IntelliCAD, DraftSight), permitindo até utilizar os scripts em outras plataformas em caso de aumento eventual de custos da plataforma AutoCAD® (28,29,30).

A linguagem AutoLISP (atualmente melhor referida formalmente como Visual LISP, apesar da maioria dos textos do assunto se tratarem a ela como AutoLISP) nos últimos anos foi estendida para manipulação programática de outras aplicações Windows através de comandos ActiveX⁽²⁹⁾. É amplamente utilizada na resolução de problemas relacionados a repetição de comandos, através da implementação de rotinas que automatizam tarefas e agrupam uma série de comandos que podem ser acionados com apenas uma instrução. A linguagem AutoLISP tem funcionalidade dentro do AutoCAD® e, atualmente, é oferecida agregada ao programa, com um console de programação chamado Visual LISP Editor (VLIDE), que auxilia na execução e compilação de rotinas, permitindo interface gráfica mais clara por identificação de textos por cores, de acordo com as suas funções no código, ferramentas de formatação de texto, e depuração de erros de sintaxe, por exemplo^(29,31,33). Seu uso também é totalmente gratuito, o que torna tal linguagem muito usada por usuários de AutoCAD® para várias funcionalidades, inclusive havendo já algumas bibliotecas com funções básicas para manipulação de Excel⁽³⁴⁾, que foram em parte adaptadas para a realidade deste projeto, e até foi encontrado projetos semelhantes, durante a pesquisa bibliográfica, só que direcionado para cálculos para instalação de fibra ótica e edificações, respectivamente, e utilizando arquitetura .csv em vez de .xlsm^(35,36).

Apesar de as maquetes demonstrativas usadas terem tempo de processamento na ordem de frações de segundo, os recursos computacionais para abordagens mais amplas (com 1000+ alvos) ainda não foram testados. Espera-se que, com menor necessidade de recálculos por parte do Microsoft Excel e o não uso de sua interface, a carga computacional seja menor, mas são necessários testes.

Uma outra limitação é que ainda há necessidade de uso do SOLVER diretamente pelo Excel. Nossa expectativa é que num futuro próximo, seja possível utilizar *script* baseado na biblioteca de funções OpenSolver, ou biblioteca similar, para eliminar tal necessidade.

6.2. Análises comparativas

Também serão necessários muitos testes do produto final para localizar *edge cases* onde o programa pode potencialmente funcionar de forma inesperada, e consertá-lo de acordo, e isso também envolverá a comparação com o uso manual do *software* de cálculo, que é o único jeito que temos ao momento de fazê-lo, pois não há outro *software* para comparação.

6.3. Ganhos esperados

O principal ganho esperado com a implementação desta interface gráfica pela empresa parceira é de tempo, como relatado, o que antes demorava dia(s), com este produto passa a demorar hora(s), tanto por abolir a necessidade de digitar e redigitar os mesmos dados várias vezes em cada um dos programas envolvidas, como também ao eliminar a possibilidade de erros de digitação após a entrada de dados inicial. A possibilidade de configurar objetos com categorias pré-prontas (exemplo - paredes de diferentes materiais, alvos com taxa de ocupações diferentes pré-programadas), eliminam-se ainda mais erros de digitação na entrada inicial de dados. Possivelmente, com a melhora da lógica do programa com tempo e *feedback* dos usuários, ter-se-á ainda maior economia de tempo no futuro.

E tempo, num ambiente regulatório e de negócios como o nosso, com muita demanda por este serviço com a expansão da radiologia e do PET/CT, significa mais dinheiro, lucro, e a abertura da possibilidade de expansão da empresa no futuro.

Atualmente temos a versão 1.0 (operacional) do projeto que, com certeza, receberá mais atualizações e customizações no futuro, conforme verificar-se a necessidade de novas funcionalidades e ajustes, e, quiçá, novos serviços a serem oferecidos pela empresa baseados nessa tecnologia.

Não se pretende vender o código para outras empresas. Ao invés disso, a intenção é utilizar o modelo *Software as a Service* (SaaS), de forma que o consumidor só forneça as informações de seu serviço e receba o memorial de blindagens pronto, sem tocar no código. Tal formato é favorecido atualmente não só pela fidelização do consumidor, mas também por evitar a possibilidade de pirataria dos *softwares* utilizados.

É importante notar, no entanto, que a estrutura geral do código pode potencialmente ser adaptada a outras situações em arquitetura e engenharia, o que pode levar a novas parcerias e aplicações no futuro. De fato, o código já se presta a uso em radiologia (Tomografia computadorizada) e em radioterapia com poucas adições necessárias.

Para implementação em outros países são necessários poucos ajustes. Há pouco a traduzir (apenas a barra de ferramentas é manipulada pelo usuário), sendo necessário apenas embutir os limites de dose do regulador local, sendo um processo rápido a atualização do *software* nesses casos, portanto.

7. CONCLUSÕES

A interface gráfica cumpriu a proposta de interfacear com o *software* de cálculo Excel, conseguindo sobrescrever adequadamente a planilha Excel, detectando quando criar e quando atualizar linhas, e também fazer a operação reversa, lendo a planilha e

detectando quando criar ou atualizar objetos já presentes, assim como indicar visualmente alvos de radiação acima ou abaixo do limiar registrado, e permitir também a edição manual destes dados dentro do AutoCAD®, eliminando a possibilidade de erros de transcrição do AutoCAD® para o Excel e vice-versa, e reduzindo em muito a necessidade de uso direto do Excel.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Henkin RE, Bova D, Dillehay GL, Karesh SM, Halama JR, Wagner RH, et al. Nuclear medicine. Philadelphia: Mosby-Elsevier; 2006. Vol. 1
- (2) Beierwaltes WH. The history of the use of radioactive iodine. Semin Nucl Med.

1979;9(3):151-5. doi: 10.1016/S0001-2998(79)80023-9.

(3) Fahey FH, Grant FD, Thrall JH. Saul Hertz, MD, and the birth of radionuclide therapy. *EJNMMI Phys.* 2017;4(1):15. doi: 10.1186/s40658-017-0182-7.

(4) Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. *Physics in nuclear medicine*. 4th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2012.

(5) Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN 3.01. Requisitos básicos de radioproteção e segurança radiológica de fontes de radiação. Dispõe sobre os princípios gerais e requisitos básicos para a radioproteção das pessoas e do meio ambiente e para a segurança radiológica das fontes de radiação ionizante [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2023 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/Normas/grupo-3/NormaCNENNN3.01.pdf>

(6) National Radiological Protection Board. "What is ALARA?" [Internet]. Cepen; 1986 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/19/012/19012877.pdf Comissão Nacional de Energia Nuclear.

(7) Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. Guidelines e orientações [Internet]. São Paulo: SBMN; 2019 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://sbmn.org.br/educacao/guidelines-e-orientacoes/>

(8) Norma CNEN NN 3.05. Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear. Dispõe sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica em Serviços de Medicina Nuclear in vivo [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2013 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/Normas/grupo-3/grupo3-nrm305.pdf>

(9) Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN 6.02. Licenciamento de Instalações Radiativas [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2022 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/Normas/grupo-6/NormaCNENNN6.02.pdf>

(10) Comissão Nacional de Energia Nuclear. Resolução nº 293, de 29 de Março de 2022. Altera a Norma CNEN NN 6.02, que dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas, fontes não-seladas, equipamentos geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2022 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-a-informacao/atos-normativos/cnen/comissao_deliberativa/resolucoes/2022/Res_CD_293BS.pdf

(11) Comissão Nacional de Energia Nuclear. Guia para licenciamento e controle de instalações de medicina nuclear. Versão 2.0 [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2023 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://appasp2019.cnen.gov.br/seguranca/orientacoes/orientacoes.asp>

(12) National Council on Radiation Protection and Measurements (US). Structural shielding design and evaluation for medical use of X rays and gamma rays of energies up to 10 MeV. Bethesda: NCRP; 1976. (NCRP Report No. 49).

(13) National Council on Radiation Protection and Measurements (US). Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities. Bethesda: NCRP; 2004. (NCRP Report No. 147).

(14) Archer BR, Thornby JI, Bushong SC. Diagnostic X-ray shielding design based on an empirical model of photon attenuation. *Health Phys.* 1983;44(5):507-17. doi: 10.1097/00004032-198305000-00005.

(15) Madsen MT, Anderson JA, Halama JR, Kleck J, Simpkin DJ, Votaw JR, et al. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT shielding requirements. *Med Phys.* 2006;33(1):4-15. doi: 10.1118/1.2135911.

(16) Canadian Nuclear Safety Commission. Design guide for nuclear substance laboratories and nuclear medicine rooms GD-52. Ottawa: CNSC; 2010.

(17) Kusano M, Caldwell CB. Dose equivalent rate constants and barrier transmission data for nuclear medicine facility dose calculations and shielding design. *Health Phys.* 2014;107(1):60-72. doi: 10.1097/HP.0000000000000051.

(18) Soares AD. Metodologia para o cálculo de blindagem em medicina nuclear [tese]. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria; 2018.

(19) The Mind Circle. How life before AutoCAD® looks like [Internet]. Madrid: Arquitectura Viva; 2019 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://arquitecturaviva.com/articles/how-life-before-AutoCAD®-looks-like-1>

(20) EBAC. O que é o AutoCAD® e porque ele é importante [Internet]. São Paulo: EBAC online; 2023 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://ebaonline.com.br/blog/o-que-e-AutoCAD®-seo>

(21) Havok. Havok Physics [Internet]. Dublin: Havok; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.havok.com/havok-physics/>

(22) Chaos docs. V-Ray [Internet]. Chaos docs; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://docs.chaos.com/display/VMAX/V-Ray+7>

(23) Microshield® Pro and Microshield® LT [Internet]. Lynchburg, USA: Grove Software [citado 06 abr 2025]. Disponível em: <https://radiationsoftware.com/Microshield>

(24) MercurRAD - 3D Simulation Software for Dose Rate Calculation [Internet]. USA: Mirion Technologies, Inc, 2025 [citado 06 Abr 2025]. Disponível em: <https://www.mirion.com/products/technologies/health-physics-radiation-safety-instruments/portable-radiation-measurement/dose-modeling-software/MercurRAD-3d-simulation-software-for-dose-rate-calculation>

(25) RadShield - Radiation Shielding Design. [Internet]. Oklahoma City, OK, USA: University of Oklahoma Health Sciences Center; 2015 [citado 10 Abr 2025]. Disponível em: <http://www.radshield.org/>

(26) Coherent Market Insights. Report - Radiotherapy Market 2024 [Internet]. Burlingame: Coherent Market Insights; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.coherentmarketinsights.com/insight/request-sample/1320>

(27) "Radiology Services Market by Product Type (Stationary Digital Radiology Systems and Portable Digital Radiology Systems), by Application (Cardiovascular

Imaging, Chest Imaging, Dental Imaging, Orthopedic Imaging and Others), Technology (Computed Radiology and Direct Digital Radiology), End User (Hospitals, Diagnostic Centers and Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2024-2033 [citado 10 Jan 2025] [Internet] disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2023/01/16/2589341/0/en/Radiology-Services-Market-Size-to-Hit-USD-5-3-Billion-by-2030-at-19-7-CAGR-Report-by-Market-Research-Future-MRFR.html>

(28) Ronleigh. History of AutoLISP [Internet]. Ronleigh; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <http://ronleigh.com/autolisp/ahistory.htm>

(29) Autodesk. AutoLISP Developer's Guide (AutoLISP) [Internet]. Autodesk; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/OARX/2025/ENU/?guid=GUID-265AADB3-FB89-4D34-AA9D-6ADF70FF7D4B>

(30) Reilly ED. Marcos na ciência da computação e tecnologia da informação. Bloomsbury: Bloomsbury Academic; 2003. p. 156-7.

(31) AfraLISP. Learn AutoLisp for AutoCAD Productivity [Internet]. AfraLisp; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.afralisp.net/autolisp/>

(32) Autodesk. Como usar o AutoCAD LT e o AutoLISP: suas perguntas respondidas [Internet]. Autodesk; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em:

<https://forums.autodesk.com/t5/AutoCAD-portugues/guia-de-lisp-para-AutoCAD-It-2024/td-p/12004127>

(33) Hou J-H. Visual LISP Function Reference Chart for AutoCAD 2000/2002/2004 [Internet]. Lee mac; 2008 [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://www.lee-mac.com/files/VLReferenceChart.pdf>

(34) Miller T. Autolisp code [Internet]. Autolisp exchange; [citado 10 Jan 2025]. Disponível em: <https://autolisp-exchange.com/AutoLISP-Code.htm>

(35) Avelino DP, Teixeira JS, Araújo AAR. Application in AutoCAD to automate the calculation of mechanical efforts in fiber optic network projects [Internet]. In:

Proceedings of 10th International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE 2023); 2023. Fortaleza-Jericoacoara: Federal University of Ceara, University of Evry; 2023 [citado 13 Jan 2025]. Disponível em: <https://hal.science/hal-04078794v1>

(36) Jacoski CA, Breda LR. Customização em autolisp visando a comunicação de interferências em projetos de edificações. In: Anais da 1a Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; 10o Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído; 2004; São Paulo. São Paulo: claCS'04; 2004. ISBN 85-89478-08-4.

9. ANEXOS

Anexo 1. Documento Comprobatório do Produto Gerado



INSTITUTO DE SEGURANÇA E TECNOLOGIA EM RADIAÇÕES
CNPJ: 05.917.011/0001-54 – INSCRIÇÃO MUNICIPAL: 00098525-2
RUA FRANCISCA AMARAL, 103
CAMPINAS – SP
13.106-216
Tel: (19) 9-9601-0368

DECLARAÇÃO DE
DESENVOLVIMENTO CONJUNTO PARA USO COMERCIAL

Eu, Eduardo Tinois da Silva, inscrito no CPF 153.836.828-56, sócio da empresa ISTRAD, declaro para os devidos fins que a ISTRAD está apoiando com aporte financeiro e suporte de conhecimento, ao profissional Paulo Henrique Silva Monteiro no desenvolvimento de um aplicativo que realiza a interface para coleta de dados e apresentação dos resultados do método de cálculo de blindagem para serviços de Medicina Nuclear dWb-NM3D, também desenvolvido em parceria com a UNESP, no Programa de Pós Graduação em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica), desde o ano de 2022. Declaramos também estar avaliando as versões do aplicativo para finalidade de testes, com objetivo de verificar o correto funcionamento.

Atenciosamente,



Eduardo Tinois da Silva
Diretor Executivo

Campinas, 06 de janeiro de 2025

Anexo 2. Termo de Dispensa Ética



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de



Botucatu, 06 de junho de 2023

Ao

Conselho do Programa de Pós-graduação em Pesquisa e Desenvolvimento
(Biotecnologia Médica)

Faculdade de Medicina de Botucatu - Unesp

Prezados Senhores,

Declaramos que a dissertação de mestrado intitulada *Desenvolvimento de interface gráfica para cálculos de blindagens para fins de radioproteção* de autoria do discente Paulo Henrique Silva Monteiro se enquadra na Deliberação 351/2020 da Congregação da Faculdade de Medicina, Unesp com base na Resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, que não deve ser registrada nem avaliada pelo sistema CEP/CONEP, por se tratar de:

- () Pesquisa de opinião pública com participantes não identificados;
- () Pesquisa que utiliza informações de acesso público, nos termos da Lei nº 12.527;
- () Pesquisa que utiliza informações de domínio público;
- () Pesquisa censitária;
- () Pesquisa com bancos de dados, cujas informações são agregadas, sem possibilidade de identificação individual;
- () Pesquisa realizada exclusivamente com textos científicos de revisão para literatura científica;
- (X) Pesquisa que objetiva o aprofundamento teórico de situações que emergem espontânea e contingencialmente na prática profissional, desde que não revelem dados que possam identificar o sujeito.

Atenciosamente,

Sonia Marta Moriguchi
Orientadora

Paulo Henrique Silva Monteiro
Discente