

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL

**HELENTON CARLOS DA SILVA
(ORGANIZADOR)**



O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL

**HELENTON CARLOS DA SILVA
(ORGANIZADOR)**



Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Posaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

D451 O desenvolvimento sustentável na engenharia civil [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-66-9
 DOI 10.22533/at.ed.669202003

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Engenharia civil. I. Silva, Helenton Carlos da.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*O Desenvolvimento Sustentável na Engenharia Civil*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora e apresenta, em seus 5 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância do desenvolvimento sustentável na engenharia civil, pensar no desenvolvimento atual sem esquecer do desenvolvimento das gerações futuras.

O desenvolvimento sustentável incorpora os aspectos de um sistema de consumo em massa no qual a preocupação com a natureza, via de extração da matéria-prima, é máxima, ou seja, significa obter crescimento econômico necessário, garantindo a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social para o presente e gerações futuras.

Portanto, para que ocorra o desenvolvimento sustentável é necessário que haja uma harmonização entre o desenvolvimento econômico, a preservação do meio ambiente, a justiça social (acesso a serviços públicos de qualidade), a qualidade de vida e o uso racional dos recursos da natureza (principalmente a água).

A indústria da construção é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais. O setor da construção civil tem papel fundamental no desenvolvimento do país e, dessa forma, se torna peça chave para o atendimento dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, os empreendimentos sustentáveis só recebem essa denominação se atenderem a seis regras básicas: sustentabilidade do canteiro de obras e da região em torno dele, inclusive com recuperação de todas as áreas que forem afetadas pela construção; eficiência total no consumo de água: reaproveitamento da água utilizada e aproveitamento da água da chuva; garantia da redução do consumo e da eficiência energética do prédio, inclusive com uso de fontes renováveis de energia; reciclagem e tratamento correto dos dejetos e resíduos; trabalhar para manter o mais baixo possível as emissões de poluentes e usar materiais de origem vegetal ou reciclados no acabamento ou infraestrutura; e buscar sempre a melhoria e a adequação dos procedimentos.

Na prática, construir de maneira sustentável significa: reduzir o impacto negativo das obras (barulho, poeira e tarefas repetitivas); integrar fontes de energia renováveis ainda no estágio de desenvolvimento do projeto; usar materiais recicláveis na construção para preservar recursos naturais; melhorar a performance térmica dos edifícios para reduzir os custos com ar-condicionado, calefação e as emissões de CO₂; projetar o tempo de vida das estruturas; reciclar materiais e estruturas após a demolição; conceber projetos habitacionais de baixo custo para melhorar as condições de vida da população de baixa renda.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados ao

desenvolvimento sustentável aplicado à Engenharia Civil. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista a preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DE TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS DE PESQUISAS PARA ENGENHARIA INDUSTRIAL João Victor Cordeiro Saulnier de Pierrelevee Bragança DOI 10.22533/at.ed.6692020031	
CAPÍTULO 2	12
ANÁLISE DE ACESSIBILIDADE EM EDIFÍCIO PÚBLICO Carlos Roberto Mangussi Filho Priscila Lima de Oliveira Carlos Roberto Mangussi Luis César de Oliveira DOI 10.22533/at.ed.6692020032	
CAPÍTULO 3	29
AValiação DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE PNEUS EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO Elizabeth Yukiko Nakanishi Bavastri Gabriela do Prado Sá Brito DOI 10.22533/at.ed.6692020033	
CAPÍTULO 4	41
DISPONIBILIZAÇÃO DE RECURSOS E TAREFAS PARA A OTIMIZAÇÃO DO AMBIENTE CLOUD – BASE DE CONHECIMENTO HEURÍSTICA João Victor Cordeiro Saulnier de Pierrelevee Bragança DOI 10.22533/at.ed.6692020034	
CAPÍTULO 5	49
BLINDAGEM MULTILAMINADA APLICADA A UM REATOR MODULAR DE PEQUENO PORTE HIPOTÉTICO Alberto Teixeira Neto Cláudio Luiz de Oliveira Domingos D'Oliveira Cardoso Gabriela Martins Duarte João Domingos Talon João Vitor Mendes da Silva Ronaldo Glicerio Cabral Rudnei Karam Morales Sergio Gavazza Sergio de Oliveira Vellozo Thomaz Jacintho Lopes DOI 10.22533/at.ed.6692020035	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	58
ÍNDICE REMISSIVO	59

BLINDAGEM MULTILAMINADA APLICADA A UM REATOR MODULAR DE PEQUENO PORTE HIPOTÉTICO

Data de aceite: 18/03/2020

Data de submissão: 18/11/2019

Alberto Teixeira Neto

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5003720096027010>

Cláudio Luiz de Oliveira

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/6159469224775854>

Domingos D’Oliveira Cardoso

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/4264729606472762>

Gabriela Martins Duarte

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/7524570647983843>

João Domingos Talon

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5061227513161318>

João Vitor Mendes da Silva

Instituto Militar de Engenharia – Seção de

Engenharia Nuclear

Rio de Janeiro – RJ

<http://lattes.cnpq.br/0407382381518121>

Ronaldo Glicerio Cabral

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/6850661314064509>

Rudnei Karam Morales

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/9813801149303422>

Sergio Gavazza

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/7484635543989153>

Sergio de Oliveira Vellozo

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/1654947885559242>

Thomaz Jacintho Lopes

Instituto Militar de Engenharia – Seção de Engenharia Nuclear
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/8134708363721663>

RESUMO: Neste trabalho, o núcleo de um reator modular de pequeno porte (SMR) hipotético do tipo PWR, com enriquecimento do combustível de 20% e potência de 50MWe/150MWt (50 megawatt elétrico/150 megawatt térmico), foi simulado usando o *software* SCALE sob a condição de criticalidade de funcionamento. A 300cm do vaso de pressão do SMR foi medida a taxa de dose de 191,83mSv/s, que mostrou a necessidade de calcular e instalar uma blindagem no contexto do plano de proteção radiológica da instalação nuclear para fins de licenciamento e cumprimento das diretrizes pertinentes. Os dados disponíveis foram utilizados no dimensionamento do projeto básico do serviço de proteção radiológica dessa instalação, além da possibilidade de serem aplicados na elaboração do respectivo PSAR (*Preliminary Safety Analysis Report*).

PALAVRAS-CHAVE: SMR, SCALE, dose, blindagem, radioproteção.

MULTILAMINATED SHIELDING APPLIED TO A HYPOTHETICAL SMALL MODULAR REACTOR

ABSTRACT: In this work, the core of a hypothetical PWR type Small Modular Reactor (SMR) with 20% fuel enrichment and 50MWe/150MWt power was simulated using the SCALE *software* under operational criticality condition. A rate dose of 191,83mSv/s was measured at 300cm from the SMR pressure vessel which showed the need to calculate and install a shield in the context of the nuclear facility radiological protection plan for licensing purposes and compliance with the related guidelines. The available data were used for the sizing of the facility radiological protection service basic project, besides can be applied to elaborate the power plant PSAR.

KEYWORDS: SMR, SCALE, dose, shield, radioprotection.

1 | INTRODUÇÃO

O estudo apresenta a modelagem de um reator modular de pequeno porte (SMR), de potência 50MWe/150MWt (50 megawatt elétrico/150 megawatt térmico), que pode ser utilizado para geração de energia com a finalidade de uso comercial, dessalinização da água do mar, ou mesmo em propulsão naval. Esta versatilidade se deve ao baixo custo de investimento inicial, grande flexibilidade de localização e alta eficiência quando comparado aos reatores nucleares tradicionais (United States Department of Energy - DOE).

O objetivo do trabalho foi determinar as espessuras necessárias de uma blindagem considerando a operação diária do SMR, levando em consideração toda radiação proveniente do seu núcleo. O núcleo deste SMR foi modelado e simulado utilizando, como ferramenta, o *software* SCALE[7].

Os resultados referentes à radiação da instalação nuclear foram analisados, as

doses efetivas calculadas e verificou-se a necessidade de implementação de uma blindagem multilaminada. As camadas desta blindagem são constituídas por ar, concreto ordinário, alumínio, ferro e chumbo na instalação nuclear a fim de atender aos limiares normativos estipulados pelo órgão regulador para a radioproteção dos IOE (indivíduos ocupacionalmente expostos).

2 | METODOLOGIA

É fundamentada na definição da blindagem multilaminada para a instalação nuclear da Figura 1, que ilustra apenas o vaso do SMR e parte da blindagem a ser instalada. Inicialmente, foi definido o núcleo do SMR, conforme as Figuras 2 e 3. Utilizou-se os módulos KENO VI e TRITON (T6-DEPL), do *software* SCALE, com a finalidade de modelar a geometria do núcleo e obter as atividades médias, respectivamente, decorrentes dos radionuclídeos provenientes das reações nucleares ocorridas durante o *burn-up* do combustível ao longo de um dia de operação do SMR na condição de criticalidade.

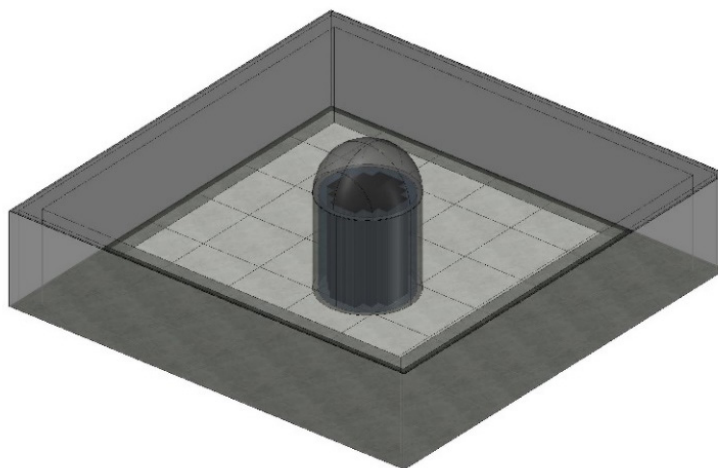


Figura 1: Ilustração simplificada da instalação nuclear.

Os parâmetros nucleares, considerando a condição de criticalidade de funcionamento do SMR no ciclo zero foram: temperatura do combustível e da água $T=613K$, 700ppm de Boro diluído no moderador e composição isotrópica do elemento combustível UO_2 , com enriquecimento a 20% do $^{235}U_{92}$. Considerou-se, também a presença de combustível queimável, $UO_2 + Gd_2O_3$, no núcleo do SMR.

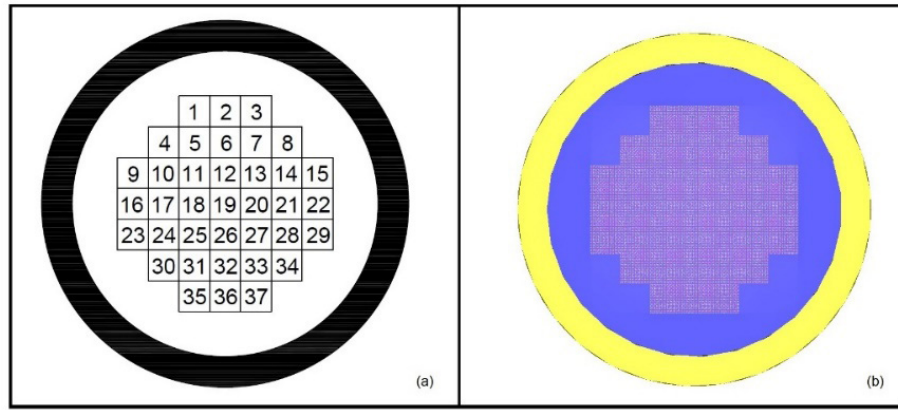


Figura 2: Vista superior ilustrativa do núcleo do SMR: (a) AutoCAD; (b) SCALE/KENO VI.

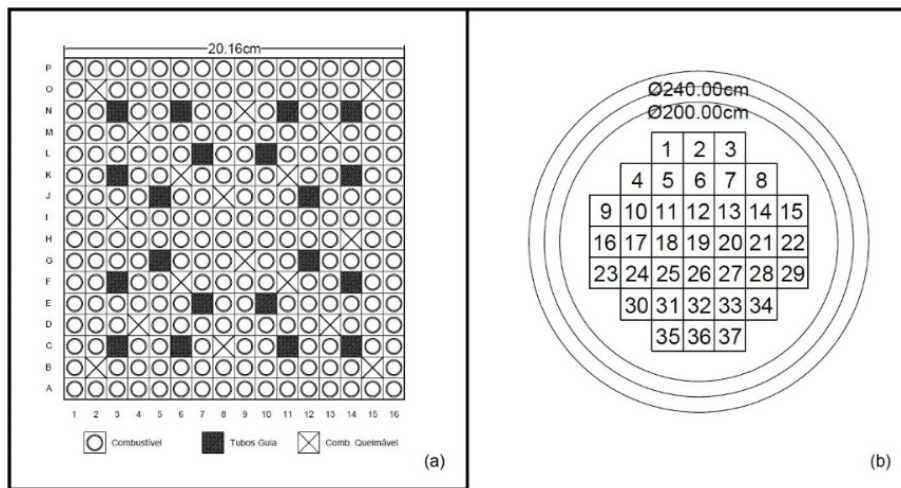


Figura 3: Vista superior ilustrativa: (a) Elemento combustível (EC); (b) Disposição dos EC no núcleo do SMR (fora de escala).

A partir dos resultados das atividades obtidas por meio do *software* SCALE, considerou-se uma fonte pontual e isotrópica emitindo fótons monoenergéticos localizada no *cladding* das varetas dos EC mais externos a partir do centro do núcleo do SMR, (1, 2, 3, 4, 8, 9, 15, 16, 22, 23, 29, 30, 34, 35, 36 e 37) conforme as Figuras 3 (b) e 4.

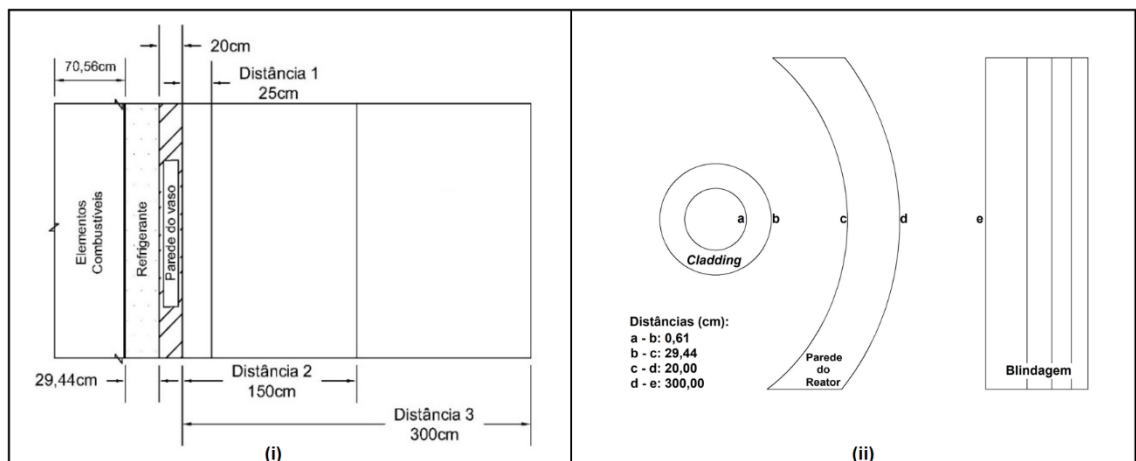


Figura 4: Vistas ilustrativas das camadas atravessadas pelos fótons: (i) Lateral e (ii) Superior (fora de escala).

A distância de 300cm da parede externa do vaso de pressão do SMR foi estipulada de forma a delimitar o espaço necessário para a sua instalação e seus acessórios. As demais distâncias (1 e 2) foram definidas aleatoriamente para os cálculos efetuados.

Admitindo-se o experimento de má geometria (devido ao feixe de radiação incidente não ser colimado ao longo de sua trajetória), foi computado o efeito de *build-up*[8] na trajetória dos fótons. Assim, foi utilizada a lei da atenuação exponencial descrita pela Equação (3.1).

$$I = I_0 e^{-\mu x} B(\mu x) \quad (3.1)$$

onde I e I_0 podem ser quaisquer grandezas radiológicas.

Para isso, foram utilizados os fatores de *build-up* individuais de Taylor $B_T(\mu x)$ [1,3], para meio infinito, considerando os diferentes materiais, individualmente, a partir da Equação (3.2).

$$B_T(\mu x) = A_1 e^{-\alpha_1 \mu x} + A_2 e^{-\alpha_2 \mu x} \quad (3.2)$$

sendo A_1 , α_1 e α_2 são coeficientes obtidos em função dos materiais e da energia da fonte; A_2 é determinado como $A_2 = 1 - A_1$ [3]; μ é o coeficiente de atenuação e x é a espessura do material.

A radiação atravessa diferentes camadas: *cladding* (considerado como estanho para efeito de cálculos), água e parede do vaso de pressão do SMR (considerado como ferro para efeito de cálculos), sendo desconsiderado o ar. Calculados os $B_T(\mu x)$, determinou-se de forma linear, para considerar o acréscimo total de radiação devido aos múltiplos espalhamentos Compton ocorridos nas interações da radiação com os materiais supracitados, o fator de *build-up* de Broder (B_B) mostrado na Equação (3.3).

$$B_B\left(\sum_{i=1}^N \mu_i x_i\right) = B\left(\sum_{i=1}^{N-1} \mu_i x_i\right) + \left[B_N\left(\sum_{i=1}^N \mu_i x_i\right) - B_N\left(\sum_{i=1}^{N-1} \mu_i x_i\right)\right] \quad (3.3)$$

onde N representa a quantidade de camadas, no caso três.

O fator de transmissão (FT) foi determinado por meio da relação I/I_0 e, a partir da atividade total inicial (A_0) na parede externa do *cladding* dos EC mais externos do núcleo, obtida por meio da simulação, foi calculada a atividade na

parede externa do vaso do SMR (A). Os valores calculados para o coeficiente de atenuação (μ) e coeficiente de atenuação de massa (μ_{en}/ρ) foram interpolados[5], tendo por referência a energia média ponderada em relação às atividades médias dos respectivos radionuclídeos do Quadro 1.

Deste modo, foi obtida a dose absorvida[1,2] por meio da Equação (3.4):

$$D = \frac{A}{4\pi r^2} \left[\sum_i^\infty E_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i \right] \quad (3.4)$$

sendo E_i a energia média ponderada da fonte radioativa.

A dose equivalente[8], em sievert (Sv), foi calculada pela Equação (3.5):

$$H = D Q \quad (3.5)$$

onde Q representa o fator de qualidade considerado igual a 1, pois foram considerados apenas fótons.

A dose efetiva[8] foi obtida por meio da Equação (3.6):

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (3.6)$$

sendo W_T o fator de peso do tecido ou órgão T e H_T a dose equivalente no tecido ou órgão T .

Foi considerada a dose equivalente para o corpo inteiro; logo, a dose efetiva se iguala, matematicamente, à dose equivalente. Sabendo a dose efetiva inicial (E_0) na parede externa do SMR, calculou-se o FT da blindagem multilaminada por meio da Equação (3.7).

$$E = E_0 e^{-\sum_{i=1}^n (\mu_i x_i)} B_B \left(\sum_{i=1}^N \mu_i x_i \right) \quad (3.7)$$

onde n e N são iguais a 4, quantidade de materiais que compõem a blindagem multilaminada.

Adotou-se a hipótese de que nêutrons não atingem a blindagem multilaminada.

3 | RESULTADOS

Realizada a simulação na condição de criticalidade do SMR, considerando todos os emissores de fótons após o *burn-up*, foram obtidos os radionuclídeos e suas respectivas atividades médias (resultado da queima no núcleo do SMR ao longo de um dia) cujo somatório foi definido como atividade total (A_0). Com isso, obteve-se as respectivas energias por meio do LARAWEB[4], conforme descrito no Quadro 1.

Radionuclídeo	Atividade (Bq)	Energia (keV)	Radionuclídeo	Atividade (Bq)	Energia (keV)
Am241	9,45E+00	59,541	Pu241	8,82E+06	16,167
Am242m	5,96E-04	18,080	Pu242	1,86E-02	16,675
Am243	2,94E-03	74,660	Pu243	1,00E+03	84,000
Cm242	7,34E+01	17,595	Sm151	3,43E+10	6,483
Cm243	7,34E-01	277,599	Tc99	5,77E+07	89,520
Cm244	1,18E+00	17,055	U234	1,17E+10	15,311
Cm245	9,75E-07	103,734	U235	1,50E+10	185,720
Pu238	9,03E+04	16,167	U236	4,11E+07	15,359
Pu239	4,89E+09	16,167	U238	9,35E+09	15,311
Pu240	2,04E+07	16,167	Atividade Média Total (A_0) (Bq) = 7,53E+10		

Quadro 1: Radionuclídeos, atividades médias e energias para o SMR na condição de criticalidade.

No Quadro 2, são apresentados os resultados da taxa de dose (mSv/s) e a dose (mSv/ano), obtidas considerando o ano de trabalho com 240 dias, 8 horas por dia, 60 minutos por hora e 60 segundos por minuto, tendo por referência a parede externa do SMR como mostrado na Figura 4.

Distância (cm)	25	150	300
Taxa de Dose (mSv/s)	27623,07	767,31	191,83
Dose Anual (mSv)	1,91E+11	5,30E+9	1,33E+9

Quadro 2: Doses efetivas nos pontos de interesse para o SMR na condição de criticalidade.

Notou-se a necessidade da blindagem, entre a fonte e o IOE, quando se obteve uma dose efetiva anual de 1,33E+9mSv para a distância de 300cm. Para o cálculo da blindagem, foi considerado o limite máximo normativo (média de cinco anos) da dose efetiva anual de 20mSv para um IOE [6].

Visando otimizar a espessura, o custo e o peso, foi decidido instalar uma blindagem multilaminada definida por meio de simulações dos possíveis 24 arranjos sequenciais que podem ser obtidos utilizando-se os materiais alumínio, chumbo, concreto e ferro até se obter a combinação sequencial proposta que proporciona o menor FT.

Foram calculadas as espessuras dos materiais de blindagem para o SMR na condição de criticalidade, utilizando concreto ordinário, alumínio, ferro e chumbo, nesta ordem, no sentido fonte-detector, como apresentado na Figura 5. Este cálculo foi feito por tentativas a fim de se obter uma taxa de dose anual igual ou abaixo a 20mSv.

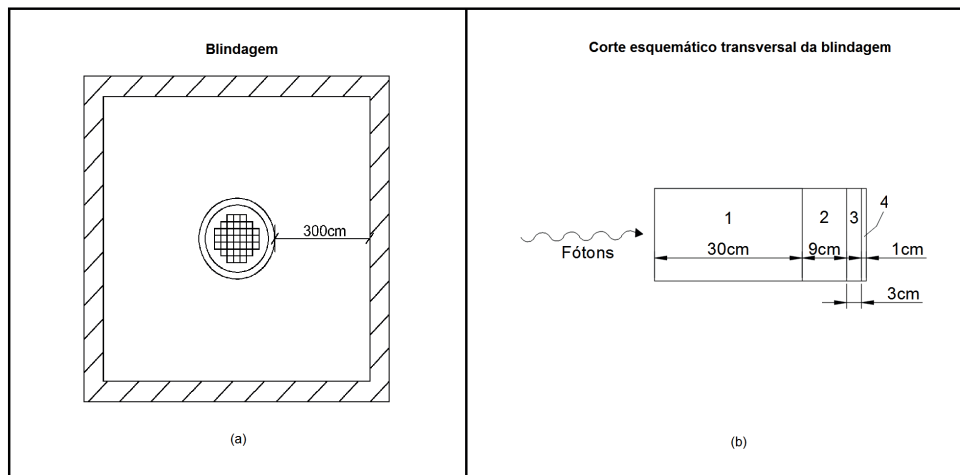


Figura 5: Desenho esquemático da blindagem: (a) Vista superior da instalação nuclear; (b) Arranjo da blindagem multilaminada.

Tais materiais foram utilizados na blindagem devido à disponibilidade e à facilidade de seus manuseios. Os resultados constam no Quadro 3.

Materiais de Blindagem	Concreto - 1	Alumínio - 2	Ferro - 3	Chumbo - 4	Espessura Total
Espessura (cm)	30	9	3	1	43

Quadro 3: Blindagem e espessuras.

Para a blindagem multilaminada proposta, a dose efetiva ocupacional calculada foi da ordem de 18,44mSv, a qual está 7,8% abaixo dos limiares normativos.

4 | CONCLUSÕES

Na condição de criticalidade do SMR, a partir do resultado da dose efetiva, constatou-se a eficiência da blindagem multilaminada a fim de atender aos limites estabelecidos na norma CNEN - NN 3.01 (Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica) [6]. O critério adotado para análise dessa blindagem foi o de menor FT; no entanto, poderiam ser adotados outros critérios, tais como: peso, custo e espessura da blindagem, sem acarretar o comprometimento dos limites normativos

estabelecidos.

Conforme o Quadro 2, o projeto do arranjo da blindagem multilaminada estabelecido considerou 300cm de distância entre a parede externa do vaso do SMR e o IOE. Para isso, obteve-se uma blindagem multilaminada de espessura de 43cm, sendo as espessuras de 30cm, 9cm, 3cm e 1cm para o concreto ordinário, alumínio, ferro e chumbo, respectivamente. Assim, essa blindagem proposta permitiu o cálculo da dose efetiva ocupacional, da ordem de 18,44mSv anual, inferior aos limites normativos estabelecidos.

Portanto, conclui-se que a metodologia aplicada no projeto de blindagem multilaminada atende às normas em vigor - no que tange à dose efetiva - e garante a segurança do IOE na instalação nuclear estudada.

REFERÊNCIAS

- [1] F.H. Attix. **Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry**. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2004.
- [2] A. B. Chilton, J. K. Shultis, R. E. Faw. **Principles of Radiation Shielding**. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, NJ, EUA, 1984.
- [3] A. Foderaro. **The Photon Shielding Manual**. University Park Pennsylvania, PA, EUA, 1976.
- [4] LARAWEB - Disponível em: <<http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>> Acesso em: 20 de maio de 2019.
- [5] NIST - National Institute Standards and Technology. Disponível em: <<https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>> Acesso em: 25 de julho de 2019.
- [6] Norma Cnen 3.0.1: **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, Rio de Janeiro, RJ, aprovada pela resolução 164/14, março de 2014.
- [7] PRIMER SCALE - B. T. Rearden, M. A. Jessee, **Code Systems ORNL/TM-2005/39 Version 6.2**, Oak Ridge, TN, abril de 2016.
- [8] L. Tauhata, I. Salati, R. Di Prinzio, A. R. Di Prinzio. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, RJ, 10ª rev-2014.

SOBRE O ORGANIZADOR

HELENTON CARLOS DA SILVA - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007), especialização em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2010) é MBA em Engenharia Urbana pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2014), é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e pós-graduando em Engenharia e Segurança do Trabalho. A linha de pesquisa traçada na formação refere-se à área ambiental, com foco em desenvolvimento sem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente, buscando a inovação em todos os seus projetos. Atualmente é Engenheiro Civil autônomo e professor universitário. Atuou como coordenador de curso de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projetos e acompanhamento de obras, planejamento urbano e fiscalização de obras, gestão de contratos e convênios, e como professor na graduação atua nas seguintes áreas: Instalações Elétricas, Instalações Prediais, Construção Civil, Energia, Sustentabilidade na Construção Civil, Planejamento Urbano, Desenho Técnico, Construções Rurais, Mecânica dos Solos, Gestão Ambiental e Ergonomia e Segurança do Trabalho. Como professor de pós-graduação atua na área de gerência de riscos e gerência de projetos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acessibilidade 12, 13, 14, 15, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 27
Acordo de nível de serviço 41
Agregado 29, 31, 32
Ambiente 12, 14, 17, 19, 25, 27, 31, 41, 42, 43, 45, 47, 58
Análise 1, 2, 8, 9, 10, 12, 41, 43, 45, 46, 56
Aterro 29
Avaliação 29, 40

B

Blindagem 49, 50, 51, 54, 55, 56, 57
Bloco de concreto intertravado 29, 38

C

Concreto 16, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 51, 55, 56, 57

D

Depósito clandestino 29
Dose 50, 54, 55, 56, 57

E

Edifício público 12, 13
Eficiência 41, 50, 56
Equilíbrio 41
Estudo 1, 2, 5, 6, 7, 10, 13, 40, 41, 43, 50

I

Incorporação 29, 31, 33, 36, 37, 38, 39
Industrial 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
Integração 12

M

Máquina virtual 41, 43, 44
Mobilidade 12, 13, 14, 15, 16, 21, 22, 27

O

Otimização 1, 10, 41

P

Pavimentação 29, 30, 31, 39, 40

Perspectivas 1, 3

Pesquisas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 27, 29

Proteção radiológica 50, 56, 57

Q

Qualidade de serviço 41, 47

R

Radioproteção 50, 51, 57

Relações interpessoais da cidade 12

Rendimento 41

Resíduo de pneu 29, 32, 33, 39

Resíduos 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40

S

Sistemas inteligentes 1, 6, 9, 10

Substituição de agregado natural por resíduo 29

T

Tecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 42

Tecnologia da informação 1, 2, 4, 5, 9, 10, 42

Tendências 1, 4

V

Virtual 41, 42, 43, 44

 **Atena**
Editora

2 0 2 0