



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ALINE SOUSA DE CASTRO**

**MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE  
CASO DE UM HOSPITAL PRIVADO DE FORTALEZA/CE**

**FORTALEZA – CE**

**2022**

ALINE SOUSA DE CASTRO

MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE  
CASO DE UM HOSPITAL PRIVADO DE FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

FORTALEZA – CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C35m Castro, Aline Sousa de.

Manejo de resíduos sólidos dos serviços de saúde : estudo de caso de um hospital privado de Fortaleza/CE / Aline Sousa de Castro. – 2022.

73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

1. Resíduos dos Serviços de Saúde. 2. Sustentável. 3. Autoclavagem. 4. Hospital. 5. Manejo. I. Título.

CDD 628

---

ALINE SOUSA DE CASTRO

MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE  
CASO DE UM HOSPITAL PRIVADO DE FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Graduação em Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em:    /    /   

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Emilia Soares Chaves Rouberte  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Doutoranda Marisa Guilherme da Frota  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP)

Dedico este trabalho a todos que acreditaram em mim e a todos que buscam o sucesso trilhando o caminho da educação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu abrigo nos dias ruins e por sempre está ao meu lado. Meu sustento.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe por todo esforço e renúncia para garantir que eu pudesse ter uma vida melhor.

Agradeço a todos os meus amigos da UFC, em especial, Adriano, Anny, Ester, Lucas, Jonathan, Natália e Natascha, cujas vivências, ajudas, desabafos e risadas tornaram a graduação mais suportável. Grata por estarmos finalizando essa etapa juntos e por tudo que fizeram por mim. Vocês são incríveis.

Agradeço ao Pedro, por seu amor, companheirismo, paciência e zelo. Obrigada por ouvir meus desabafos e sempre torcer por mim. Seremos engenheiros extraordinários.

Agradeço ao PRODEMA, programa da UFC na qual fui bolsista por um ano. Além das pessoas maravilhosas que conheci, em especial a Sônia e a Verônica. Grata pela acolhida e por tudo o que aprendi.

Agradeço à Enactus UFC, organização de empreendedorismo social que fiz parte por três anos e que proporcionou grande crescimento pessoal e profissional, uma das melhores e mais ricas experiências na universidade.

Agradeço aos colaboradores do hospital, em especial a equipe de hotelaria, pelas informações cedidas para realização desse estudo.

Agradeço ao professor Ronaldo Stefanutti, meu orientador nesta pesquisa, por aceitar meu convite e sua paciência em contribuir com seus ricos conhecimentos. Sempre muito solícito perante meus questionamentos durante a graduação.

Agradeço também as participantes da banca, Emilia Soares Chaves Rouberte e Marisa Guilherme da Frota, pela contribuição, pela disponibilidade e por aceitarem fazer parte da minha banca examinadora adicionando suas colaborações e sugestões.

Agradeço a todos os que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão de mais esse objetivo em minha vida.

“Pois, enfim, que é o homem na natureza? Um nada ante o infinito, um tudo ante o nada, um intermediário entre nada e tudo. ” (Blaise Pascal)

## RESUMO

O intuito deste estudo consiste em realizar um diagnóstico de situação e apresentar uma proposta para trabalhar de forma mais sustentável a gestão dos resíduos dos serviços de saúde de um hospital do setor privado localizado na cidade de Fortaleza, Ceará. As pesquisas bibliográficas foram baseadas no gerenciamento dos resíduos do hospital, buscando compreender sua efetividade e aplicabilidade da proposta. Desta forma, foi apresentado a necessidade de um bom manejo dos resíduos perigosos utilizando o sistema de autoclavagem e sua viabilidade no horizonte de dez anos, na finalidade de ter uma gestão mais segura e sustentável. No cenário atual, todos os modelos são viáveis, sendo necessário filtrar o melhor equipamento de acordo com as definições do hospital. Para o horizonte de dez anos, todos os modelos também são viáveis economicamente, porém há modelos mais atrativos e dentro da realidade do hospital. Adicionado a esses resultados, propor o uso dos recicláveis de elevado poder calorífico para serem usados como Combustível Derivado de Resíduos-CDR, após sua saída da autoclave.

Palavras-chave: Resíduos dos Serviços de Saúde, Sustentável, Autoclavagem, Hospital, Manejo.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to perform a diagnosis of the situation and present a proposal to work in a more sustainable way the management of health service waste from a private hospital located in the city of Fortaleza, Ceará. The bibliographic research was based on the hospital's waste management, seeking to understand its effectiveness and applicability of the proposal. Thus, the need for a good management of hazardous waste using the autoclave system and its feasibility in a ten-year horizon was presented, in order to have a safer and sustainable management. In the current scenario, all the models are viable, but it is necessary to filter the best equipment according to the hospital's definitions. For the ten-year horizon, all the models are also economically viable, but there are more attractive models within the hospital's reality. Added to these results, to propose the use of high calorific value recyclables to be used as Refuse Derived Fuel (RDF) after they leave the autoclave.

**Keywords:** Health Services Waste, Sustainable, Autoclaving, Hospital, Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Caracterização e classificação dos resíduos sólidos .....	22
Figura 2 - Caixa para descarte de resíduo perfurocortante .....	24
Figura 3 - Modelo de sacos para acondicionamento dos resíduos .....	24
Figura 4 - Símbolo universal de substância infectante .....	25
Figura 5 - Símbolo universal de substância tóxica .....	25
Figura 6 - Simbologia do indicador de radiação ionizante .....	26
Figura 7 - Símbolo universal para a reciclagem e cores da coleta seletiva .....	26
Figura 8 - Símbolo dos resíduos perfurocortantes .....	26
Figura 9 - Modelos de carrinhos para transporte interno de resíduos .....	27
Figura 10 - Abrigo externo de resíduos .....	28
Figura 11- Autoclave em operação – Usina de Tratamento de RSS .....	38
Figura 12- Esquema de incineração de grelha fixa.....	39
Figura 13- Esquema de micro-ondas para RSS .....	40
Figura 14 - Foto ilustrativa do Modelo A.....	51
Figura 15- Foto ilustrativa do Modelo D.....	52
Figura 16 - Foto ilustrativa do Modelo C.....	53
Figura 17 - Foto ilustrativa do Modelo E .....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Massa de resíduos por tipo de destinação final no Brasil em toneladas .....	30
Gráfico 2- Distribuição das notificações de acidentes de trabalho com exposição a material biológico, segundo as circunstâncias do acidente, 2014 (%) .....	31
Gráfico 3- Destinação final de RSS pelos municípios nas regiões (%).....	35
Gráfico 4- Média da geração dos resíduos nos últimos 4 anos em toneladas .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de resíduos dos serviços de saúde por classe .....	21
Tabela 2- Classificação dos tipos de tratamento .....	35
Tabela 3- Levantamento da quantidade de resíduos produzido no decorrer dos anos em toneladas .....	47
Tabela 4- Custo por resíduo por ano .....	48
Tabela 5- Custo para coleta do resíduo infectante por ano.....	49
Tabela 6- Tipos de resíduos gerados por unidade de um hospital.....	49
Tabela 7- Classe de resíduos usados no Modelo E.....	54
Tabela 8- Resumos dos modelos apresentados.....	55
Tabela 9- Informações gerais dos equipamentos.....	58
Tabela 10- Média diária do valor por kWh em 2022 .....	58
Tabela 11- Valor total de cada equipamento .....	59
Tabela 12- Tratamento do resíduo infectante no horizonte de dez anos .....	60
Tabela 13- Coleta do resíduo comum no horizonte de dez anos .....	60
Tabela 14- Estimativa das receitas .....	61
Tabela 15- Estimativa anual da geração de RSS em 10 anos.....	61
Tabela 16- Geração diária de RSS em kg.....	62
Tabela 17- Fluxo de caixa do Modelo A em dez anos .....	63
Tabela 18 – VPL do Modelo A em dez anos.....	63
Tabela 19- Fluxo de caixa do Modelo B em dez anos.....	64
Tabela 20- VPL do Modelo B em dez anos.....	64
Tabela 21- Fluxo de caixa do Modelo C em dez anos.....	65
Tabela 22- VPL do Modelo C em dez anos.....	65
Tabela 23- Fluxo de caixa do Modelo D em dez anos .....	66
Tabela 24- VPL do Modelo D em dez anos .....	66
Tabela 25- VPL, TIR, Payback Descontado no horizonte de dez anos.....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDR	Combustível Derivado de Resíduo
CDRU	Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
ECP	Equipamento de Controle de Poluição
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IHM	Interface Homem Máquina
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PCCS	Planos de Cargos, Carreiras e Salários
PGRSS	Plano de Gerenciamento de Resíduos do Serviço de Saúde
PIS	Programa de Integração Social
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RSS	Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSUE	Resíduos Sólidos Urbanos para fins Energéticos
SCIH	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SIMA	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
TE	Tarifa de Energia
T.I	Tecnologia da Informação
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TSSI	Tecnologia e Sistemas de Saúde de Informação
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UCB	Unidade Costa Barros
UNA	Unidade Nogueira Acioli
URE	Unidades de Recuperação Energética
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Âmbitos da Legislação Ambiental</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1.1 Federal</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1.2 Estadual</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.3 Municipal</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 Resíduos dos Serviços de Saúde</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.1 Definição</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.2 Classificação dos RSS</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.3 Gerenciamento dos RSS</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2.4 Riscos atribuídos aos RSS</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3. Os RSS e as alternativas para benefício do meio ambiente</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3.1. CDR – Combustível Derivado de Resíduos</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.2. Reciclagem e CDR</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4 Tecnologias aplicadas ao tratamento dos RSS</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4.1 Autoclavagem</b> .....	<b>36</b>
<b>3.4.2 Incineração</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4.3 Micro-ondas</b> .....	<b>40</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 Local de Estudo</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 Levantamento de Dados</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3 Estudo de viabilidade do sistema</b> .....	<b>43</b>
<b>4.3.1 Geração de resíduos do hospital</b> .....	<b>43</b>
<b>4.3.2 Custo de Energia Elétrica</b> .....	<b>44</b>
<b>4.3.3 Análise de Viabilidade Econômica</b> .....	<b>44</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1 Descrição dos resíduos</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2 Etapas de manejo e padronização</b> .....	<b>50</b>
<b>5.3 Máquinas Disponíveis no Brasil</b> .....	<b>50</b>

<b>5.3.1 Modelo A (Autoclave para resíduo hospitalar)</b> .....	<b>51</b>
<b>5.3.2 Modelo B e Modelo D (Autoclavagem e Trituração)</b> .....	<b>52</b>
<b>5.3.3 Modelo C (Autoclave horizontal)</b> .....	<b>53</b>
<b>5.3.4 Modelo E (Esterilizador)</b> .....	<b>54</b>
<b>5.4 Ciclo de Capacitações</b> .....	<b>55</b>
<b>5.5 Aquisição do Sistema de Autoclavagem</b> .....	<b>56</b>
<b>5.6 Impactos Ambientais</b> .....	<b>56</b>
<b>6. ANÁLISE ECONÔMICA DOS EQUIPAMENTOS</b> .....	<b>57</b>
<b>6.1 Equipamentos de grande porte</b> .....	<b>57</b>
<b>6.2 Equipamentos de menor porte</b> .....	<b>57</b>
<b>6.2.1 Custo com Energia Elétrica</b> .....	<b>58</b>
<b>6.2.2 Aplicação dos equipamentos</b> .....	<b>59</b>
<b>6.3 Fluxo de Caixa</b> .....	<b>60</b>
<b>6.4 Estimativa do custo de resíduo infectante</b> .....	<b>60</b>
<b>6.5 Estimativa da geração de resíduos</b> .....	<b>61</b>
<b>6.5.1 Payback no horizonte de dez anos</b> .....	<b>62</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>68</b>
<b>8. TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com avanços nas tecnologias e sensibilização das pessoas sobre o impacto negativo que a geração de resíduos desenfreada pode ocasionar ao meio ambiente e na qualidade de vida dos seres, principalmente quando não destinado corretamente, foram desenvolvidas alternativas para minimizar tais problemas como aplicação dos três R's (reduzir, reutilizar, reciclar) e a compostagem, por exemplo. Deste modo, não seria diferente para os resíduos dos serviços de saúde- RSS, devido ao alto risco de contaminação no meio ambiente e ser prejudicial à saúde das pessoas.

Em 2020, em decorrência do aumento no número de internações hospitalares e atendimentos de saúde por conta da pandemia da Covid-19, cerca de 290 mil toneladas de resíduos de serviços de saúde foram coletadas nos municípios brasileiros, com um índice de coleta per capita em torno de 1,4 kg por habitante no ano (ABRELPE, 2021).

Se definem como geradores de RSS todos os serviços cujas atividades estejam relacionadas com a atenção à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de piercing e tatuagem, salões de beleza e estética, dentre outros afins (RDC nº 222/2018).

Quanto à destinação dos RSS, cerca de 30% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos coletados sem nenhum tratamento prévio, o que contraria as normas vigentes e apresenta riscos diretos aos trabalhadores, à saúde pública e ao meio ambiente (ABRELPE, 2021). Entretanto, já existem opções para tratamento desses resíduos tais como a incineração, autoclavagem, esterilização por micro-ondas.

Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, os geradores de resíduos sólidos deverão adotar medidas que promovam a redução da geração dos resíduos, principalmente os resíduos perigosos, na forma prevista nos respectivos planos de resíduos sólidos e nas demais normas aplicáveis. Logo, cabe ao gerador a decisão do tratamento dos RSS que melhor se adequa a organização respeitando as normas e leis e minimizando os impactos negativos ao meio ambiente.

Os RSS são resíduos perigosos, pois carregam seres microbiológicos patogênicos, além de conter perfurocortante e químicos. Havendo a responsabilidade do gerador sobre o

manejo adequado do resíduo e escolha da sua destinação final utilizando um modelo que gere resultados satisfatório para todos os envolvidos com o RSS, respeitando as legislações, meio ambiente e sociedade. Sendo assim, uma proposta sustentável aplicável a uma empresa do setor da saúde poderia ser a utilização da autoclavagem “*in loco*” como tratamento dos resíduos dos serviços de saúde e destinação final a disposição em aterro classe II- aterro sanitário ou até mesmo a reciclagem, dependendo do resíduo.

O sistema de autoclavagem vem como uma proposta para tratar os resíduos infectantes gerados de forma mais sustentável devida sua boa eficiência, seu baixo impacto ambiental, além da redução dos resíduos infectantes e alteração de suas características o integrando a uma nova destinação final. Assim um estudo de viabilidade econômica é necessário para analisar sua aplicabilidade no local.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar o uso de sistema de autoclaves para tratamento dos resíduos dos serviços de saúde-RSS de um hospital do setor privado como uma proposta para uma gestão mais sustentável.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar os RSS gerados no hospital;
- Apresentar a autoclavagem como sistema de tratamento;
- Identificar benefícios da autoclavagem;
- Apresentar contribuições da proposta para o meio ambiente (reciclagem e emissões de CO<sub>2</sub>);
- Analisar a viabilidade econômica de implantação do sistema de autoclavagem.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Âmbitos da Legislação Ambiental**

Devido ao alto risco proveniente dos RSS, no decorrer dos anos vem-se trabalhado de uma maneira atenciosa. O potencial de alto risco dos RSS desencadeou olhares e como pode ser trabalhado esse fato. No tocante da normatização brasileira sobre os RSS, a mesma é tratada em âmbito federal, estadual e municipal por meio de suas normas e leis. Assim, será apresentado as principais regulamentações tratadas no país.

##### **3.1.1 Federal**

Dentre as políticas nacionais e legislações ambientais existentes que contemplam a questão de resíduos sólidos, destacam-se aquelas que dispõem sobre: a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 31/08/1981), a Política Nacional de Saúde (Lei Orgânica da Saúde nº 8.080 de 19/09/90), a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795 de 27/04/1999), a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433 de 08/01/1997), a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/1998), o Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257 de 10/07/2001); a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445 de 05/01/2007) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305 de 02/08/2010).

Especificamente sobre as normativas referente aos RSS, somente teve visibilidade com a aprovação da Resolução CONAMA nº 006/1991, que desobrigava a incineração ou outros tipos de tratamento da queima dos resíduos oriundos dos serviços de saúde e terminais de transportes. Após isso, houve mudanças e aprimoramento nas legislações que serão apresentadas abaixo.

- Resolução CONAMA nº 005/1993: Estabelece que os estabelecimentos prestadores de serviço de saúde e terminais de transporte elaborem o gerenciamento de seus resíduos, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos.
- Resolução CONAMA nº 283/2001: Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde, exceto resíduos de terminais de transporte.
- RDC ANVISA nº 33/2003: Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Considerando a necessidade de prevenir e reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente, por meio do correto gerenciamento dos resíduos gerados pelos serviços de saúde.
- RDC ANVISA nº 306/2004: Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Considerando a necessidade de

aprimoramento, atualização e complementação dos procedimentos da RDC anterior, a fim de preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

- Resolução CONAMA nº 358/2005: Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências, visando a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente.
- Lei 12.305/2010: Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- RDC ANVISA 222/2018: Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências, não incluindo fontes radioativas.

A Resolução CONAMA nº 358/2005 e a RD ANVISA 222/2018, hoje são as principais normativas que trabalham com o gerenciamento dos RSS incluindo todas suas fases. Além de incluírem sobre os riscos desses resíduos e tratamento adequado.

### **3.1.2 Estadual**

A legislação estadual contempla a lei nº 16.032/2016 que determina a atuação das instituições sobre os resíduos sólidos. Para definições sobre os resíduos dos serviços de saúde, a lei determina sua classificação de acordo com o Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA e o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária-SNVS e o compromisso dos geradores e do poder público. A responsabilidade sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos fica a cargo das Secretarias de Estado da Saúde e do Meio Ambiente atuando no controle e fiscalizações.

A política estadual visa atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Política Nacional do Meio Ambiente e articular juntamente com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795/1999, com as Diretrizes Nacionais do Saneamento Básico, regulada pela Lei nº 11.445/2007, e com a Lei nº 11.107/2005, também alcança as demais políticas setoriais do Estado que estão relacionadas ao saneamento básico e ao meio ambiente.

De forma mais detalhada, a Política Estadual do Resíduos Sólidos tem a seguinte disposição: *“A Política Estadual de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Estadual, isoladamente ou em regime de cooperação com outros entes da Federação, com seus municípios ou com particulares, objetivando à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.”* (Política Estadual de Resíduos Sólidos no Âmbito do Estado do Ceará, 2016, art.4).

### **3.1.3 Municipal**

No âmbito municipal, com base na legislação federal e estadual, foi aprovado em 1999 a lei nº 8.408 que determina o gerenciamento dos resíduos sólidos. Porém, após alterações aplicadas pela lei nº 10.340/2015 com o objetivo de obter mais eficiência nas ações voltadas para o controle ambiental relacionado aos resíduos sólidos. Sobre os resíduos perigosos, a lei utiliza a caracterização estabelecida pela NBR 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

## **3.2 Resíduos dos Serviços de Saúde**

### **3.2.1 Definição**

De acordo com a RDC ANVISA nº 306/04 e a Resolução CONAMA nº 358/2005, são definidos como geradores de RSS todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para a saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento, serviços de medicina legal, drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área da saúde, centro de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores produtores de materiais e controles para diagnóstico *in vitro*, unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura, serviços de tatuagem, dentre outros similares (BRASIL,2006).

### **3.2.2 Classificação dos RSS**

A classificação dos resíduos é uma etapa fundamental para trabalhar melhor e atribuir as etapas de manejo de forma mais adequado. Porém, para definir sua classificação é necessário considerar a sua geração, local gerado e seus riscos. É através dessa determinação que as tomadas de decisões e aplicações das leis e normas podem ser seguidas de forma mais orientada.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 358/2005 e a RDC ANVISA nº 222/2018, os resíduos dos serviços de saúde são classificados em cinco grupos: A, B, C, D e E.

- Grupo A: Engloba os componentes com possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. Como por exemplo, as placas e lâminas de laboratório, carcaças, peças anatômicas (membros), tecidos, bolsas transfusionais contendo sangue, dentre outras.

- Grupo B: Contém substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Exemplos: medicamentos apreendidos, reagentes de laboratório, resíduos contendo metais pesados, dentre outros
- Grupo C: Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, como, por exemplo, serviços de medicina nuclear e radioterapia etc.
- Grupo D: Que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares. Exemplos: as sobras de alimentos e do preparo de alimentos, resíduos das áreas administrativas, etc.
- Grupo E: Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros similares.

Assim como os resíduos são classificados por grupos, também são por classes como mostra a Tabela 1. Um fluxograma explica bem como é feita a classificação dos resíduos como temos na Figura 1.

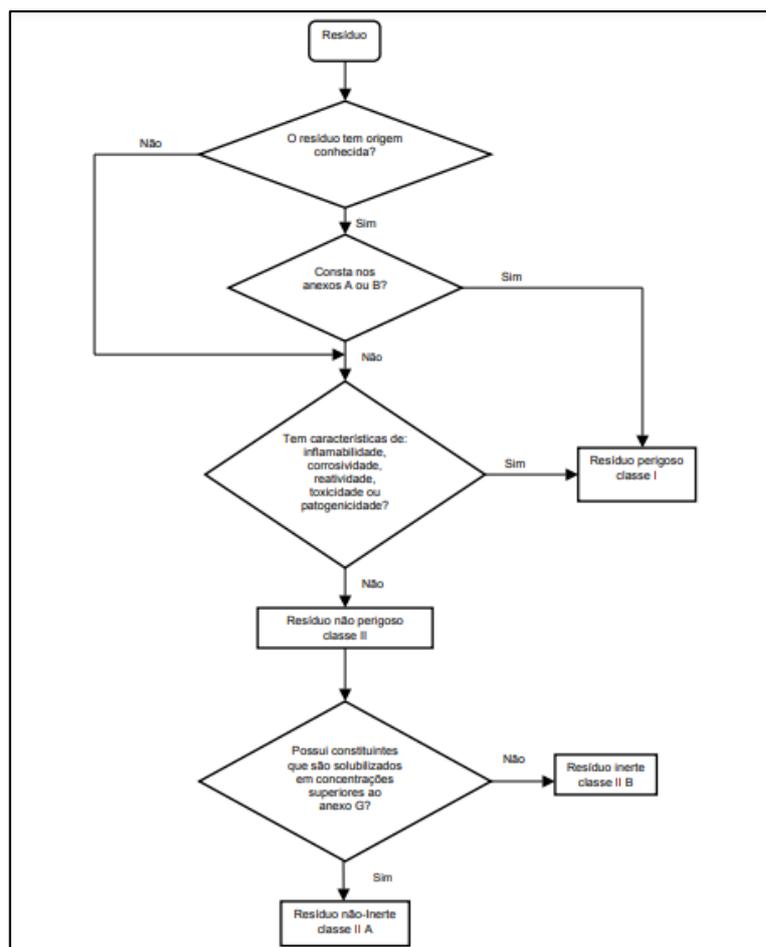
Tabela 1- Classificação de resíduos dos serviços de saúde por classe

CLASSE	DESCRIÇÃO
<b>Tipo A.1 - Biológico</b>	Cultura, inóculo, mistura de microrganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais.
<b>Tipo A.2 - Sangue e hemoderivados</b>	Bolsa de sangue após transfusão, com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, amostra de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos.
<b>Tipo A.3 - Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato</b>	Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais.
	Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro.

<b>Tipo A.4 - Perfurante ou cortante</b>	
<b>Tipo A.5 - Animal contaminado</b>	Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto à microrganismos patogênicos ou portador de doença infectocontagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com este.
<b>Tipo A.6 - Assistência ao paciente</b>	Secreções, excreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições.
<b>Resíduo especial Tipo B.1 - Rejeito radioativo</b>	Material radioativo ou contaminado, com radionuclídeos proveniente de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia (ver Resolução CNENNE-6.05).
<b>Tipo B.2 - Resíduo farmacêutico</b>	Medicamento vencido, contaminado, interditado ou não utilizado.
<b>Tipo B.3 - Resíduo químico perigoso</b>	Resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico conforme NBR 10004.
<b>Classe C - Resíduo comum</b>	Todos aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que, por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem risco adicional à saúde pública. P. ex.: resíduo da atividade administrativa, dos serviços de varrição e limpeza de jardins e restos alimentares que não entraram em contato com pacientes.

Fonte: ABNT, 1993

Figura 1- Caracterização e classificação dos resíduos sólidos



Fonte: ABNT, 2004

### 3.2.3 Gerenciamento dos RSS

De acordo com a RDC ANVISA nº 222, de 28 de março de 2018, o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde-RSS é conjunto de procedimentos de gestão, planejados e implementados a partir de bases científicas, técnicas, normativas e legais, com o objetivo de minimizar a geração de resíduos e proporcionar um encaminhamento seguro, de forma eficiente, visando à proteção dos trabalhadores e a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente.

Por meio do gerenciamento dos resíduos é possível planejar os recursos necessários para boa realização do manejo. As etapas do gerenciamento consistem em: segregação, acondicionamento, identificação, transporte interno, armazenamento temporário, tratamento, armazenamento externo, coleta e transporte externo e a disposição final ambientalmente adequada.

- Segregação: separação dos resíduos, conforme a classificação dos grupos, no momento e local de sua geração, de acordo com as características físicas, químicas, biológicas, o seu estado físico e os riscos envolvidos.

Os resíduos biológicos (grupo A) devem ser separados em coletores de cor branca sinalizando que é substância infectante, para o resíduo reciclável (grupo D) utiliza coletor azul identificando “papel” e coletor vermelho sinalizando “plástico”. Já para o restante dos resíduos pertencentes do grupo D não recicláveis utiliza cor cinza. Para os resíduos perfurocortantes (grupo E) utiliza caixa de cor amarela com o símbolo de substância infectante, como apresenta a Figura 2.

Figura 2 - Caixa para descarte de resíduo perfurocortante



Fonte: Material do hospital, 2021

- Acondicionamento: Ato de embalar os resíduos segregados em sacos ou recipientes que evitem vazamentos, que sejam resistentes às ações de punctura, ruptura e tombamento, e adequados física e quimicamente ao conteúdo acondicionado.

O resíduo infectante deve ser acondicionado em sacos de cor branco leitoso com o símbolo de substância infectante. No caso dos perfurocortantes, acondicionar em caixas de cor amarela, devendo ser resistente a vazamentos, perfurações e rupturas. Para o resíduo comum não reciclável, deve acondicionar em sacos pretos. A Figura 3 faz a representação dos sacos dos resíduos descritos.

Figura 3 - Modelo de sacos para acondicionamento dos resíduos



Fonte: Material do hospital, 2021

- Identificação: conjunto de medidas que permite o reconhecimento dos riscos presentes nos resíduos acondicionados, de forma clara e legível em tamanho proporcional aos sacos, coletores e seus ambientes de armazenamento externo, sendo de fácil visualização.

Os resíduos devem ser identificados com seu respectivo símbolo, devendo o mesmo está inscrito nos sacos, nos coletores, nos carrinhos que transportam os resíduos e no local de armazenamento externo.

Os resíduos do grupo A são identificados pelo símbolo de substância infectante, com rótulos de fundo branco, desenho e contornos pretos, como na Figura 4.

Figura 4 - Símbolo universal de substância infectante



Fonte: Brasil – ANVISA, 2006, p.43

Os recipientes de acondicionamento para os resíduos grupo B são identificados pelo símbolo de risco associado e com discriminação de substância química e frases de risco como apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Símbolo universal de substância tóxica



Fonte: Brasil – ANVISA, 2006, p.43

Os resíduos do grupo C são identificados pelo símbolo internacional de presença de radiação ionizante como apresentado na Figura 6. Um trifólio de cor magenta em rótulos de fundo amarelo e contornos pretos e contendo a expressão “MATERIAL RADIOATIVO”.

Figura 6 - Simbologia do indicador de radiação ionizante



Fonte: Brasil – ANVISA, 2006, p.43

Os resíduos do Grupo D não possuem uma simbologia específica. Eles podem ser divididos em resíduos comuns não recicláveis e os recicláveis. Para os materiais recicláveis adota o sistema de coleta seletiva, nesse caso a sua identificação é baseada na Resolução CONAMA nº 275/01 nos recipientes e nos abrigos de guarda recipientes, utilizando o código de cores, nomes e os símbolos de cada tipo de material reciclável, como apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Símbolo universal para a reciclagem e cores da coleta seletiva



Fonte: Brasil – ANVISA, 2006, p.43

Os resíduos do Grupo E são identificados pelo símbolo de substância infectante, com rótulos de fundo branco, desenho e contornos pretos, acrescidos da expressão “RESÍDUOS PERFUROCORTE”, indicando o risco que apresenta o resíduo como apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Símbolo dos resíduos perfurocortantes



Fonte: Brasil – ANVISA, 2006, p.43

- Transporte Interno: Traslado dos resíduos dos pontos de geração até o abrigo temporário ou o abrigo externo.

Os carrinhos que realizam os transportes devem ter a identificação respectiva do seu grupo de resíduo. A Figura 9 ilustra o caso dos resíduos infectantes, devendo usar carrinho na cor branca com o símbolo da substância infectante e para os resíduos comuns não recicláveis, utilizar carrinho na cor cinza e assim para cada grupo de resíduo.

Figura 9 - Modelos de carrinhos para transporte interno de resíduos



Fonte: Material do hospital, 2021

- Armazenamento Temporário: guarda temporária dos coletores de resíduos de serviços de saúde, em ambiente próximo aos pontos de geração, visando agilizar a coleta no interior das instalações e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à apresentação para coleta externa.

A sala para o armazenamento temporário deve ter piso liso, lavável e resistente ao tráfego de recipientes coletores, as paredes também devem ser lisas e laváveis. A disposição direta dos sacos sobre o piso não poderá ser feita no armazenamento temporário, sendo obrigatória a conservação dos sacos dentro dos recipientes de acondicionamento. Quando a sala for exclusiva para o armazenamento de resíduos ela deve estar identificada como “SALA DE RESIDUOS”, quando for compartilhada com a sala de utilidades ela deve dispor de no mínimo 2m<sup>2</sup> para armazenar dois recipientes coletores (ANVISA, 2004).

- Armazenamento Externo: guarda dos coletores de resíduos em ambiente exclusivo, com acesso facilitado para a coleta externa como a Figura 10.

Figura 10 - Abrigo externo de resíduos



Fonte: Material do hospital, 2021

- Coleta e Transporte externo: Consiste na remoção dos resíduos de serviços de saúde do abrigo externo até a unidade de tratamento ou outra destinação, ou disposição final ambientalmente adequada, utilizando-se de técnicas que garantam a preservação das condições de acondicionamento.

De acordo com a Resolução nº 306 da ANVISA a coleta dos RSS deve ser realizada de acordo com a norma NBR 12.810 da ABNT e o transporte externo deve atender aos requisitos da norma NBR 14652 do mesmo órgão. Além disso, a empresa transportadora deve obedecer ao Decreto Federal nº 96.044/98 e a Portaria Federal nº 204/97 (WIESER, 2017).

- Tratamento: Etapa da destinação que consiste na aplicação de processo que modifique as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de dano ao meio ambiente ou à saúde pública.

A escolha do tratamento que será utilizado depende da finalidade que pretende obter, pois existem tecnologias que divergem no seu resultado final. Logo, o processo de tratamento a ser escolhido depende dos objetivos que se quer alcançar. As técnicas de tratamento de RSS devem ter licença ambiental, respeitando a Resolução CONAMA nº 237/97 e devem ser fiscalizadas e controladas pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente. As opções de tratamento mais utilizadas no país são: incineração, autoclavagem, micro-ondas, pirólise e tratamento químico.

- Disposição final: Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Combustível Derivado de Resíduo – CDR: Destina-se a designar a fração combustível recuperada a partir de resíduos sólidos não perigosos e utilizado para alimentação de fornos industriais. O processo para a conversão do RSU em CDR acontecem a partir dessas fases: trituração, triagem, secagem e/ou peletização melhorando as características de manuseio e homogeneidade do material. Esse combustível se aplica a materiais de alto poder calorífico como dos rejeitos da coleta seletiva, que tem a finalidade de tornar esse combustível estimulando a redução de usos de combustíveis fósseis e reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo de forma segura e controlada, garantindo a preservação ambiental e a saúde pública. O sistema está fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas. O método consiste na compactação dos resíduos em camada sobre o solo devidamente impermeabilizado (empregando-se, por exemplo, um trator de esteira) e no controle dos efluentes líquidos e emissões gasosas. Seu recobrimento é feito diariamente com camada de solo, compactada com espessura de 20 cm, para evitar proliferação de moscas; aparecimento de roedores, moscas e baratas; espalhamento de papéis, lixo, pelos arredores; poluição das águas superficiais e subterrâneas. O principal objetivo do aterro sanitário é dispor os resíduos no solo de forma segura e controlada, garantindo a preservação ambiental e a saúde (BRASIL, 2006).

O aterro de resíduos perigosos classe I ou aterro industrial, possui uma técnica onde utiliza procedimentos específicos de engenharia e confinamento para a disposição final de resíduos químicos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e para minimizar os impactos ambientais (Id, 2006, p.55).

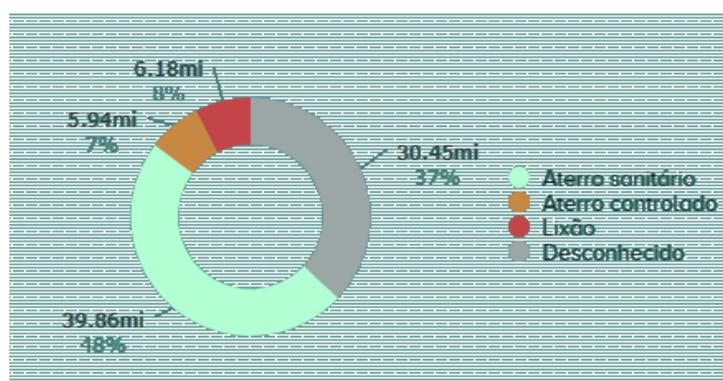
O aterro controlado compreende o local de destinação final de resíduos sólidos, onde a contenção dos resíduos é feita com o recobrimento periódico do lixo com material inerte, a construção de lagos de contenção e a impermeabilização do solo de base (opcional), empregando técnicas de engenharia como descrito na NBR 8849/1985 que foi cancelada e substituída pela NBR 8419/1992 que apresenta projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

O lixão ou vazadouro, como também pode ser denominado, não há nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados e quanto ao local de disposição dos mesmos. Nesses casos, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados juntamente

com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor. Nos lixões pode haver outros problemas associados, como por exemplo a presença de animais, a presença de catadores, além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados, como o metano, na decomposição dos resíduos e de escorregamentos, quando da formação de pilhas muito íngremes, sem critérios técnicos, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, aparecimento de vetores indesejáveis.

Essa forma de destinação está proibida de acordo com a Lei nº 12.305/2010 (Novo Marco Regulatório do Saneamento com a aprovação da Lei nº 14.026/2020). No Gráfico 1, apresenta as proporções de massa dos resíduos relacionado ao seu tipo de destinação no país.

Gráfico 1- Massa de resíduos por tipo de destinação final no Brasil em toneladas



Fonte: SINIR, 2019

### 3.2.4 Riscos atribuídos aos RSS

No Brasil, foi instituída em 2005 a Norma Regulamentadora – NR 32, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) que estabelece as diretrizes básicas para a aplicação de medidas de proteção à saúde e à segurança dos trabalhadores dos serviços de saúde, tendo como objetivo a melhoria das condições laborais nesses setores, além de minimizar os riscos ocupacionais existentes (BRASIL, 2005b).

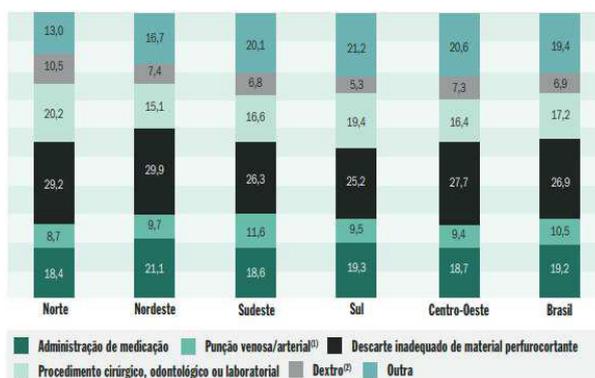
A problemática da incorreta manipulação dos RSS resulta em um alto índice de infecções hospitalares, como também, em acidentes quando do manejo dos resíduos nas instituições de serviços de saúde, como apresenta os dados do Gráfico 2. Tal fato ocorre em face da falta de treinamento para as pessoas responsáveis pela retirada desses resíduos e de instrumentos para a correta manipulação dos mesmos (SANTOS, SCHRAMM e MEDEIROS, 2007, p.2).

Os resíduos do serviço de saúde devem ser bem trabalhados em todas as suas fases de manejo (segregação, condicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e

disposição final) devido os efeitos imediatos de graves riscos, por apresentarem componentes químicos, biológicos e radioativos.

- Componentes químicos: Destacam-se as substâncias ou preparados químicos que são tóxicos, corrosivos, inflamáveis, reativos, genotóxicos, mutagênicos, produtos mantidos sob pressão – gases, quimioterápicos, pesticidas, solventes, ácidos crônicos, limpeza de vidros de laboratórios, mercúrio de termômetros, substâncias para revelação de radiografias, baterias usadas, óleos, lubrificantes usados etc.
- Componentes Biológicos: Contêm agentes patogênicos que possam causar doença e dentre os componentes radioativos usados em procedimentos de diagnóstico e terapia, os que contêm materiais emissores de radiação ionizante.
- Riscos ambientais: Potencial de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo lançamento de RSS em lixões ou aterros controlados que também proporciona riscos aos catadores, principalmente por meio de lesões provocadas por materiais cortantes e/ou perfurantes, e por ingestão de alimentos contaminados, ou aspiração de material particulado contaminado em suspensão. Também o risco de contaminação do ar, devido ao processo de incineração dos RSS descontrolado que emite poluentes para a atmosfera contendo, por exemplo, dioxinas e furanos.

Gráfico 2- Distribuição das notificações de acidentes de trabalho com exposição a material biológico, segundo as circunstâncias do acidente, 2014 (%)



(1) Introdução de uma agulha em veia ou artéria

(2) Exame de sangue para se medir a quantidade de glicose no sangue

Fonte: DIEESE (2016).

### 3.3. Os RSS e as alternativas para benefício do meio ambiente

Os resíduos de saúde, principalmente os sólidos, são chamados de resíduos especiais, porque realmente merecem uma atenção diferenciada. Se descartados incorretamente no meio ambiente, podem causar problemas através de agentes patogênicos que, em contato com

corpos aquáticos, podem causar a disseminação de doenças por contágio direto ou por meio de vetores, como a ingestão de carne de algum animal contaminado (FROHLICH, 2016). A previsão legal para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde está amparada na Resolução nº 358 de 29 de abril de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

Desde a publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Brasil tem evoluído significativamente no que diz respeito à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Neste sentido, a PNRS também trata sobre a recuperação energética dos resíduos, em seu Art. 9º, § 1º, expõe que “Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental” (BRASIL, 2010). Com o amparo legal proporcionado pela PNRS, diversos estados do Brasil criaram suas próprias leis e normativas técnicas sobre tratamento térmico de resíduos e coprocessamento. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) também possui algumas Resoluções tratando do tema (PIAIA, 2021).

### **3.3.1. CDR – Combustível Derivado de Resíduos**

A normativa europeia EN15359:2011 define CDR como combustível sólido produzido a partir de resíduos não perigosos usados para recuperação de energia em locais de incineração e co-incineração, respondendo a classificação desta normativa. O CDR é classificado e definido por diversas normas técnicas que visam facilitar a comercialização destes combustíveis para a produção de energia elétrica e para a fabricação de cimento, em substituição aos combustíveis fósseis tradicionais (PAOLO; PAOLA, 2015). O CDR proporciona economia, redução de dióxido de carbono e outras emissões de gases do efeito estufa e pode ser utilizado como um substituto para os combustíveis fósseis convencionais (BRÁS et al., 2017; REZA et al., 2013).

A produção de CDR consiste na eliminação do que não for combustível, reduzindo o tamanho das partículas e seu teor de umidade, homogeneizar os resíduos. Para as etapas de segregação e classificação do seu processo produtivo, o resíduo é tratado por um pré-triturador seguido por triturador magnético, após essa fase, os rejeitos são encaminhados para um separador balístico realizando a retirada do que possui baixo poder calorífico e o restante é tratado para remover materiais como metais, vidros e restos orgânicos.

Uma composição ideal de CDR é aquela que apresenta resíduos com alto poder calorífico, contendo alto teor de plásticos, papel, papelão, embalagens poliméricas, têxteis e

madeira, pois possuem em sua composição compostos biogênicos que ao mesmo tempo elevam o poder calorífico do combustível e contribuem para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> (BRÁS et. al, 2017). Entretanto a composição e as propriedades do CDR variam de acordo com local, devido a caracterização do resíduo. Logo, os impactos ambientais e custos de aplicação também são variáveis. Demonstração das normativas existentes no país relacionadas ao aproveitamento energético de resíduos sólidos e coprocessamento em fornos de produção de clínquer (PIAIA, 2021).

- Resolução CONAMA nº 264 de 26 de agosto de 1999: Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos.
- Rio Grande do Sul - Resolução CONSEMA 02 de 17 de abril de 2000: Dispõe de norma sobre o licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.
- Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002: Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos
- São Paulo - CETESB Norma Técnica P4- 263 de dezembro de 2003: Procedimento para utilização de resíduos em fornos de produção de clínquer.
- Resolução CONAMA nº 382 de 26 de dezembro de 2006: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.
- Paraná - Resolução SEMA nº 76 de 30 de novembro de 2009: Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.
- Minas Gerais - Deliberação Normativa nº 154 de 25 de agosto de 2010: Dispõe sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer.
- Resolução CONAMA nº 436 de 26 de dezembro de 2011: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.
- São Paulo - Resolução SIMA nº 38 de 31 de maio de 2017: Estabelecem diretrizes e condições para o licenciamento e a operação da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos – CDRU em Fornos de Produção de Clínquer.
- São Paulo - Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). Resolução nº 047 de 6 de agosto de 2020: Estabelece diretrizes e condições para o

licenciamento de unidades de preparo de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos -CDR e da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de CDR.

- ABNT – NBR 16.849 de 10 de fevereiro de 2020: Estabelece os requisitos para aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos com ou sem incorporação de outros resíduos classe II – não perigosos, abrangendo os aspectos de elegibilidade de resíduos, registros e rastreabilidade, amostragem e formação dos lotes, armazenamento, preparo de resíduos sólidos urbanos para fins energéticos (RSUE), classificação dos lotes gerados e uso do RSU nas unidades de recuperação energética (URE), conforme a cadeia de custódia descrita na norma, respeitando a hierarquia de gestão e gerenciamento de resíduos.
- Resolução CONAMA nº 499 de 6 de outubro de 2020: Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.

### **3.3.2. Reciclagem e CDR**

O CDR tem uso em potencial para evitar que materiais como os rejeitos recicláveis, vá para aterros, entretanto necessita que haja a desinfecção desses resíduos atendendo as especificações definidas pelo combustível. Para o processo de desinfecção pode se aplicar a autoclavagem como etapa anterior colaborando para o encaminhamento do rejeito para um CDR. Outro ponto que deve considerar é granulometria do material.

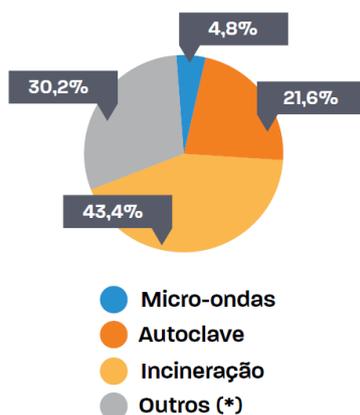
A granulometria dos resíduos para produção de CDR representa um desafio, tendo em vista a sua natureza heterogênea e a ampla distribuição de tamanho de partícula (RANIERI et al., 2017). A distribuição granulométrica é responsável por definir os processos aos quais um CDR vai estar sujeito, dentre eles: projeto de forno, temperatura de controle, tempo de residência, taxa de aquecimento, formação de subprodutos, entre outros (RANIEIRI et al., 2017).

De maneira geral, o uso de combustíveis alternativos, dentre os quais o CDR, na indústria cimenteira também pode ser analisado sob o ponto de vista ambiental, uma vez que não apenas as fontes primárias de energia são poupadas, mas também os resíduos são utilizados, que de outra forma seriam encaminhados à disposição final ambientalmente adequada (CHATZIARAS; PSOMOPOULOS; THEMELIS, 2016). O CDR é uma alternativa viável para serem utilizados em fornos, evitando os resíduos serem depositados em aterros e o uso de materiais de alto poder energético ocasionando redução das emissões atmosféricas.

### 3.4 Tecnologias aplicadas ao tratamento dos RSS

Em 2010, cerca de 4.080 municípios brasileiros declararam os serviços de coleta, tratamento e disposição final de 221.270 mil toneladas de resíduos sólidos dos serviços de saúde – RSS, equivalente a 1,156 kg por habitante/ano. Em 2019, o volume aumentou para 252.948 mil toneladas e coleta per capita de 1,213 kg/ano. A capacidade instalada de unidades para tratamento de RSS através de diferentes tecnologias também cresceu de 577 para 1.314 toneladas/dia. Mas mesmo com estes avanços observados no período, 36% dos municípios brasileiros destinaram os RSS coletados sem nenhum tratamento prévio, o que contraria as normas vigentes e apresenta riscos diretos à saúde pública, aos trabalhadores e ao meio ambiente. No tratamento para disposição final as tecnologias utilizadas foram autoclave, incineração e micro-ondas, mas em 2010 mais da metade – 50,7% tinha outros destinos sem tratamentos prévios em aterros sanitários ou controlados, valas sépticas e lixões. Este percentual diminuiu para 36,2% em 2019 (HENDGES,2021). No Gráfico 3, vemos a distribuição variada de como ocorre a destinação dos RSS pelos municípios do Brasil.

Gráfico 3- Destinação final de RSS pelos municípios nas regiões (%)



Fonte: ABRELPE, 2021

A tabela 2 faz a comparação entre as características dos processos de tratamento dos resíduos infectantes selecionados, enfatizando o desempenho do sistema de autoclavagem, a proposta desse estudo. A classificação foi categorizada em Baixa, Média e Alta.

Tabela 2- Classificação dos tipos de tratamento

Fonte: Adaptado de Programa Regional de Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios, 1998

Processo	Redução de Volume	Eficiência na Desinfecção	Impacto Ambiental	Capacitação Pessoal	Capacidade de Tratamento	Custo Investimento	Custo de Operação
<b>Incineração</b>	Alta	Alta	Média**	Alta	Alta	Alta	Alta
<b>Pirólise</b>	Alta	Alta	Baixa	Alta	Alta	Alta	Alta
<b>Autoclavagem</b>	Baixa*	Alta	Baixa	Baixa	Média	Média	Baixa
<b>Micro-ondas</b>	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média
<b>Químico</b>	Baixa	Alta***	Média	Média	Alta	Média	Média

\* Existem Autoclaves que conseguem diminuir o volume a partir da trituração do resíduo.

\*\* O impacto ambiental da Incineração pode ser diminuído com a instalação de filtros.

\*\*\* É difícil avaliar a eficiência da desinfecção química, apesar de ser considerada alta.

### 3.4.1 Autoclavagem

Uma tecnologia é a autoclavagem também chamada de esterilização a vapor, é o processo no qual os resíduos são submetidos a vapor saturado sobre pressão superior à atmosférica para esterilização através da destruição total da carga microbiana, sendo suficiente uma exposição entre 121°C e 132°C durante 15 a 30 minutos. A autoclavagem é bastante utilizada em laboratórios de pesquisa, é uma tecnologia muito conhecida, de fácil manuseio, baixo custo de investimento e apresenta um bom grau de segurança de esterilização (RODRIGUES; PEREIRA, 2013).

A umidade, temperatura e o tempo são as principais variáveis no processo da autoclavagem. A umidade e temperatura formam o vapor de água, onde material contaminado é conservado em um tempo suficiente para a destruição de todos os agentes que podem produzir doenças. Em atividade, existe a movimentação de compressão e descompressão, esse movimento faz com que o vapor de água e os resíduos na autoclave tenha contato. Já a relação entre tempo e temperatura é logarítmica, ou seja, quando há aumento da temperatura diminui exponencialmente o tempo que é preciso para a esterilização dos rejeitos.

De acordo com a RDC ANVISA nº 306/04 (ANVISA, 2004) e Resolução

CONAMA nº 358/ 05 (CONAMA, 2005), os resíduos classificados como do grupo A (infectantes) devem passar por tratamento específico, visando a inativação microbiológica em níveis pré-estabelecidos, antes da disposição final. Sendo assim, os resíduos deste grupo podem ser tratados via autoclavagem, com exceção dos resíduos classes A3 e A5, que devem, obrigatoriamente, ser incinerados. Os resíduos classe E (perfurocortantes) também podem ser tratados via autoclavagem, para posterior disposição final em aterros especiais (Souza, 2009). A Figura 11 apresenta a atividade durante a operação de um sistema de autoclavagem por um funcionário.

O manual publicado pela ANVISA em 2006, a operação de uma autoclave possui as seguintes etapas:

- Pré-vácuo: São criadas as condições de pressões negativas, de modo a do vapor com a massa de resíduos na fase posterior.
- Admissão de vapor: Etapa onde ocorre a inserção de vapor no equipamento e aumento gradativo da pressão, objetivando o acesso do vapor em toda a superfície.
- Exposição (etapa de esterilização): Etapa em que o vapor é mantido em contato com o resíduo. Nessa operação, a temperatura e a pressão são mantidas elevadas durante um determinado período até que ocorra a redução da carga microbiana.
- Exaustão lenta: Nessa fase ocorre a submissão do vapor, de maneira gradual, à passagem por um filtro com dimensões adequadas capazes de impedir a saída de microrganismos para o exterior. Paralelamente ocorre a redução da pressão, até se igualar à pressão atmosférica.
- Arrefecimento da carga: A última etapa é a redução da temperatura da carga, capaz de permitir a retirada dos resíduos tratados.

As vantagens da utilização deste método podem ser apontadas sob os seguintes aspectos:

- Ser um sistema limpo, que não produz resíduos tóxicos ou contaminantes;
- Pode ser realizado no local de geração;
- Após o processo de esterilização, os resíduos são considerados do grupo D;
- De fácil instalação;
- Empreendimentos como os hospitais que estão familiarizados com a operação, apresenta bom grau de segurança na etapa de esterilização.

Como desvantagens, pode-se apontar que:

- Baixa eficácia para os resíduos de maior densidade (anátomo-patológicos, animais contaminados, resíduos líquidos);
- O acondicionamento com os sacos dificulta a penetração do vapor.

Figura 11- Autoclave em operação – Usina de Tratamento de RSS



Fonte: Site Prefeitura de Campos, 2012

### **3.4.2 Incineração**

A incineração consiste na oxidação dos resíduos a altas temperaturas, com a ajuda do oxigênio contido no ar e sob condições controladas, convertendo materiais combustíveis (RSS) em resíduos não combustíveis (escórias e cinzas) com a emissão de gases. A incineração é atualmente aceita para o tratamento da maioria dos tipos de RSS, principalmente os infectantes e perfurocortantes, tornando-os inócuos. Os tipos de incineradores mais utilizados no tratamento de RSS são os incineradores de ar controlado, de câmaras múltiplas e de forno rotativo (SCHNEIDER; STEDILE, 2015).

A concepção de incineração em dois estágios segue os seguintes princípios: temperatura, tempo de resistência e turbulência. No primeiro estágio, os resíduos na câmara de incineração de resíduos são submetidos a temperatura mínima de 800°C, resultando na formação de gases que são processados na câmara de combustão. No segundo estágio, as temperaturas chegam a 1000°C-1200°C (E15011). Após a incineração dos RSS, os poluentes gasosos gerados devem ser processados em equipamento de controle de poluição (ECP) antes de serem liberados para a atmosfera, atendendo aos limites de emissão estabelecidos pelo órgão de meio ambiente.

De acordo com o Manual de Gerenciamentos dos Resíduos de Serviços de Saúde, elaborado pela ANVISA, dentre os poluentes produzidos destacam-se ácido clorídrico, ácido fluorídrico, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados, particulados, dioxinas e furanos. Além dos efluentes gasosos gerados no sistema de incineração, ocorre a geração de

cinzas e escórias da câmara de incineração de resíduos e outros poluentes sólidos do ECP, bem como efluentes líquidos gerados da atividade desse sistema de tratamento. As cinzas e escórias, em geral, contêm metais pesados em alta concentração e não podem, por isso, ir para aterros sanitários, sendo necessário um aterro especial para resíduos perigosos. Os efluentes líquidos gerados pelo sistema de incineração devem atender aos limites de emissão de poluentes estabelecidos na legislação ambiental, assim podem ser definidos as vantagens e desvantagens, tais como:

As vantagens da incineração são:

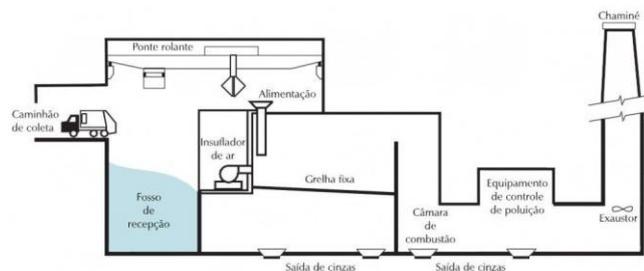
- Grande redução do volume que será descartado;
- Redução do impacto ambiental;
- Recuperação de energias;
- Aumento da vida útil dos aterros sanitários e desintoxicação.

As desvantagens podem se destacar:

- Custo elevado de operação e manutenção;
- Uso de mão-de-obra qualificada;
- Problemas operacionais;
- Limites de emissão de componentes da classe de toxinas e furanos lançados na atmosfera.

A Figura 12 apresenta a estrutura do sistema de incineração quando utilizado modelo com grelha fixa.

Figura 12- Esquema de incineração de grelha fixa



Fonte: Site Portal Resíduos Sólidos, 2018

### 3.4.3 Micro-ondas

Sistema de micro-ondas consiste na descontaminação dos resíduos com emissão de ondas de alta ou de baixa frequência, o processo ocorre a uma temperatura elevada entre 95 e 105° C. A Figura 13 apresenta o sistema, uma tecnologia relativamente nova de tratamento de RSS e possui um custo operacional relativamente alto. Deste modo, para que esse processo ocorra adequadamente os resíduos devem ser previamente submetidos a um processo de trituração e umidificação. O sistema possui vantagens e desvantagens (ELEUTÉRIO,2009).

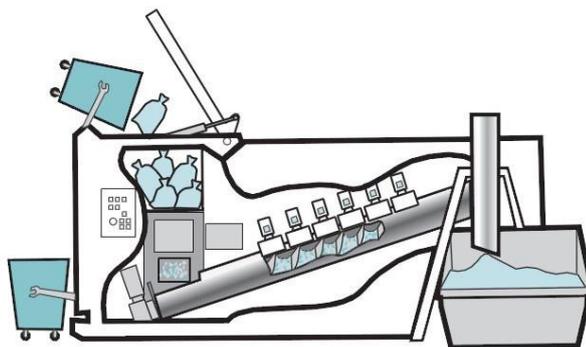
As vantagens da utilização deste método podem ser apontadas sob os seguintes aspectos:

- São compactadas podendo ser utilizadas no próprio local de geração;
- Os gases resultantes do tratamento passam por um processo de filtragem para a eliminação dos organismos patogênicos, antes de serem descarregados na atmosfera;
- O nível de automação é grande, minimizando o contato de operadores com os resíduos.

Como desvantagens, pode-se apontar que:

- Por serem compactas não atendem a contento os grandes geradores, a exemplo dos hospitais;
- Por não tratarem todos os Grupos de resíduos, sempre deverá de haver outra forma de tratamento que venha a complementar;
- Não há alteração no aspecto do resíduo.

Figura 13- Esquema de micro-ondas para RSS



Fonte: Site Portal Resíduos Sólidos, 2018

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Local de Estudo

Foi escolhido um hospital particular para ser analisado o seu gerenciamento dos RSS. O mesmo foi selecionado pelo fácil contato, o qual garantiu o acesso às informações, dos colaboradores através de perguntas, do interior do hospital e das empresas que prestam serviços de coleta, transporte e tratamento dos RSS.

Existem disponíveis através de planilhas de Excel informações sobre a geração de RSS e documentos sobre a estrutura do local. Os funcionários esclareceram os processos sobre o manejo dos resíduos. Através dos dados entregues foi possível realizar avaliação quantitativa sobre a produção de RSS coletado.

A fim de sugerir uma avaliação de melhoria ao PGRSS do hospital e os processos da empresa foram estudadas legislações estaduais e nacionais. Sendo as legislações estudadas estão a RDC nº 222/2018 e a CONAMA nº 306/2004. Utilizando como base nessas leis foi possível construir medidas sugestivas que podem ser adotadas.

O hospital foi inaugurado em 1972. Sua estrutura é conforme os critérios de funcionamento dos hospitais e apresenta ações e serviços estabelecidos pelo PCCS. O empreendimento usado como alvo desse estudo apresenta o seguinte perfil:

- Área construída de 19.023,47 m<sup>2</sup> e 4.588,00 de área edificada.
- Possui 1.347 funcionários e um corpo clínico de 900 médicos ativos e 3000 cadastrados.
- Modelo de Gestão por Competências.

Os setores do hospital são:

- Almoxarifado
- Arquivo
- Atendimento
- Farmácia
- Fonoaudiologia
- Gestão de Leitos
- Higienização e Rouparia
- Manutenção Predial
- Meio Ambiente
- Nutrição

- Pronto Atendimento
- Pastoral da Saúde
- Administração
- Auditoria
- Autorização
- Bloco Cirúrgico
- Bloco Materno e Neonatal
- Comercial
- Compras
- Contabilidade
- Contas Médicas
- Faturamento
- Financeiro
- Fisioterapia
- Gestão de Pessoas
- Manutenção de Equipamentos Biomédicos
- Psicologia
- Qualidade
- SCIH
- Serviço Social
- T.I e TSSI
- Unidades de Internação UCB
- Unidades de Internação UNA
- UTIs

Tem como descrição do empreendimento, prestação de serviço em atividades de atendimento hospitalar, exceto, pronto-socorro e unidades para atendimento de urgência.

#### **4.2 Levantamento de Dados**

Foram realizadas vistorias pelo interior do hospital e acesso às informações sobre o gerenciamento de resíduos. Foi verificado o PGRSS do hospital e as informações contidas em planilhas sobre a geração de resíduos.

Realizando as vistorias, observou-se lixeiras para coletas seletivas nas entradas de clientes do hospital, as lixeiras nas dependências do local estavam sinalizadas caracterizando o

grupo do resíduo com seus respectivos sacos. Foi observado o fluxo de peças anatômicas e dos recicláveis. Foi visto o local para armazenamento dos resíduos, onde existe a separação para cada grupo e as condições estruturais conforme a norma RDC nº 222/2018 define. Foi notado falhas nas etapas no manejo em todos os grupos de resíduos.

Foi questionado sobre o preparo que os funcionários teriam para manuseio do RSS, se existiam treinamentos. Também foi levantada a questão se havia a contabilização da quantidade de acidentes e prevenção, além da existência de um fluxo de entrega dos EPI's. Foi observado que os funcionários utilizam os equipamentos de proteção individual durante suas atividades, mas os veículos para transporte interno de resíduos estavam, em sua maioria, danificados. Em relação às empresas terceirizadas, foram verificados os contratos das prestadoras de serviços e a margem de horário que os veículos chegam para as coletas. São utilizados veículos diferentes para a coleta de resíduo comum e para resíduos infectantes, foi questionado aos funcionários das empresas pontos de melhoria em relação aos resíduos que chegam no abrigo. Os recicláveis são doados para associação de catadores onde emitem os certificados com as quantidades de cada material, essa associação possui parceria com o hospital. Os resíduos eletrônicos são destinados para uma empresa terceirizada sem vínculo contratual devido à baixa geração.

Em relação aos valores de geração dos resíduos, todo material fica contido em planilhas onde é feito acompanhamento pela empresa. Existe o acompanhamento mensal e anual de cada grupo de resíduo gerado no hospital.

### **4.3 Estudo de viabilidade do sistema**

Para analisar a viabilidade do sistema de autoclavagem no hospital foi necessário conhecer os equipamentos disponíveis no país, garantindo o acesso e comunicação com as empresas, além da estimativa de demais gastos para implantação das autoclaves e avaliação econômica. Deste modo, foram considerados cenários de viabilidade econômica para o sistema de autoclavagem a curto e longo prazo. As autoclaves foram definidas como: equipamento de grande porte (mínimo de 80 kg de capacidade), equipamento de menor porte (abaixo de 80 kg de capacidade).

#### **4.3.1 Geração de resíduos do hospital**

Para estimativa de geração dos resíduos dos serviços de saúde do hospital foram coletados pelo banco de dados e indicadores de resíduos disponibilizado pelo setor de Hotelaria do hospital. Através dos dados verificou-se a quantidade de RSS gerado em anos anteriores e o atual.

Como não havia todos os dados do ano de 2022, foi calculado uma taxa de crescimento para os demais meses com o objetivo de ter uma média anual de investimento no tratamento e coleta do resíduo infectante e coleta do resíduo comum. A taxa foi calculada a partir dos valores gerais dos anos de 2020 e 2021. Deste modo, o resultado da taxa de crescimento para tratamento do infectante ficou 0,30 e para sua coleta uma taxa de 0,12. Refere ao resíduo comum, realizando o mesmo raciocínio a taxa ficou 0,16.

Após obter a taxa foi realizada um cálculo juntamente com custo total do ano anterior resultando uma estimativa da média para 2022 de: no tratamento de resíduo infectante (R\$ 610.027,94), coleta do infectante (R\$ 5.562,76) e coleta do comum (R\$ 100.965,79). Assim, a média no custo nos últimos três anos no tratamento e coleta do infectante foram R\$ 479.071,63 e R\$ 4.998,27, respectivamente. Já para a coleta do comum no valor de R\$ 87.784,75.

No total são geradas 159,904 toneladas de resíduo infectante com custo para sua disposição no valor de R\$ 479.071,63. Realizando uma média mensal, temos a quantidade de 444,18 kg/dia.

#### ***4.3.2 Custo de Energia Elétrica***

Para complementar a análise de viabilidade econômica foi necessário incluir alguns custos que a empresa terá como o custo de energia elétrica com a implantação do sistema de autoclavagem. Para obter o valor por kWh que cada equipamento irá consumir foram necessários construir uma tabela com os dados da ANEEL com todos os impostos e tributos para consumo de energia elétrica no estado.

Para a média diária de kWh no estado, com adição dos tributos, foi verificado o valor de R\$ 1,00129/kWh. Fornecendo um valor fechado, o custo diário com energia elétrica equivale a R\$ 1,00/kWh. Entretanto, para 2023, de acordo com os Destaques da Regulação do Setor Elétrico Brasileiro, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL prevê aumento médio de 5,6% na conta de luz, tal valor incluso dos cálculos do custo de energia na viabilidade econômica no sistema de autoclavagem.

#### ***4.3.3 Análise de Viabilidade Econômica***

Foi realizado o levantamento dos equipamentos disponíveis no Brasil através do contato com as empresas fornecedoras, a fim de obter o preço, estrutura e capacidade das autoclaves levando em consideração os cenários criados. Após essa etapa de coleta de dados foi feita uma análise econômica baseado nos custos atuais para disposição dos RSS e dos

investimentos com sistema de autoclavagem. Portanto, para realizar a avaliação de viabilidade econômica foram utilizados os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), *Payback* Descontado.

Na viabilidade financeira projetos de investimentos utilizam-se de recursos para simplificar os custos como as despesas de capital e despesas operacionais. De acordo com o blog da empresa Enerbras, em sua maioria, é estimado para projetos 20% das despesas de capital, como compra do equipamento, instalações hidráulicas e elétricas. Já para as despesas operacionais como manutenções, a estimativa é em 2%. Para a taxa mínima de atratividade-TMA foi baseado na taxa Selic de 13,75% ao ano.

O método do Valor Presente Líquido (VPL) consiste na somatória dos fluxos de caixa que serão ajustados para a data inicial do investimento através de uma taxa de desconto denominada de Taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA pode ser definida como a melhor taxa de retorno, visto que, está associada a um baixo risco. Para investidores individuais costuma-se utilizar a remuneração da poupança (LIMA et.al, 2015). Ou seja, o VPL positivo significa que o projeto vale mais quando comparado com seu custo, representando lucratividade para o negócio. Já havendo VPL negativo, o projeto pode não ser vantajoso e ocasionar danos. Ele pode ser calculado utilizando a Equação 1.

$$VPL = -FC0 \sum_{j=1}^n \frac{FCj}{(1 + TMA)^j} \quad (1)$$

Assim os critérios de avaliação do VPL podem ter:

- $VPL > 0$ : O investimento é economicamente atrativo, devido as entradas de caixa ser maior que das saídas de caixa.
- $VPL = 0$ : O investimento é indiferente, ou seja, o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa.
- $VPL < 0$ : O investimento não é economicamente atrativo, assim o valor presente das entradas de caixa é menor que o valor presente das saídas de caixa.

Para o cálculo da Taxa Interna de Retorno, taxa aplicada ao fluxo de caixa permite que os custos do valor presente sejam iguais aos valores dos retornos do que é investido, igualando o VPL à zero. A TIR é uma taxa composta de retorno em período anual que a organização teria para efetivar a proposta e receber as entradas de caixas estimadas. Logo, o cálculo usado será dado pela Equação 2.

$$VPL = 0 = -Investimento\ Inicial + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} \quad (2)$$

Em relação aos critérios da TIR existem as seguintes possibilidades:

- TIR > TMA: O investimento é economicamente atrativo.
- TIR = TMA: O investimento é indiferente.
- TIR < TMA: O investimento não é economicamente atrativo.

O *Payback* é uma ferramenta que apresenta o tempo que o investimento apresenta seus retornos financeiros, onde são divididos em *Payback* Simples e *Payback* Descontado. O *Payback* Simples é responsável por acompanhar os movimentos de caixa acumulado do projeto (SILVA,2022). O *Payback* Descontado determina o tempo de recuperação do investimento descontando o custo de capital nos fluxos de caixa, ou seja, é o retorno que foi gerado no fluxo de caixa. Através dele é possível estimar um período que será necessário para que o investimento inicial aplicado seja revestido nos rendimentos reunidos. A sua diferença entre o *Payback* simples consiste no fato que ele considera o valor aplicado no decorrer dos anos.

Utilizando capital inicial do projeto, que neste caso foi considerado o custo dos equipamentos, o fluxo de caixa do projeto, que foi a quantia gasta para a disposição dos resíduos durante o período de 1 ano, sendo descontada pela taxa de juros ano a ano, foi possível encontrar o período de *Payback* quando o saldo fica positivo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Descrição dos resíduos

O hospital desenvolve várias atividades, conseqüentemente ocasiona uma quantidade considerável de resíduos gerados. Foram descritos na tabela 2 todos os resíduos que são gerados no local, separados em grupos de acordo com a classificação estabelecidas pela CONAMA nº 358/05 e a Resolução nº 222/18.

O empreendimento gera em torno de 12 toneladas de RSS/mês, onde são segregados de acordo com sua classificação e acondicionamento previsto no PGRSS e em atenção à legislação. Seu transporte externo é feito por veículos terceirizados. De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública, um hospital gera em torno de 5Kg/leito/dia de resíduos sólidos, onde em torno de 5% equivale a resíduos infectantes. Conforme a Tabela 3 apresenta, o resíduo do grupo A possui quantidade significativa para os custos de tratamento de

uma empresa terceirizada, deste modo mostra a necessidade de implantar medidas que proporcionem a redução do volume de resíduos infectantes com menos custos e de maneira mais sustentável.

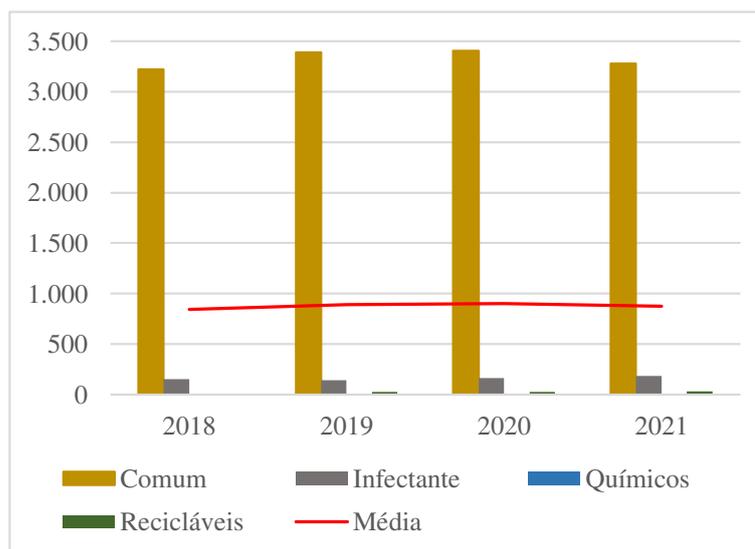
Tabela 3- Levantamento da quantidade de resíduos produzido no decorrer dos anos em toneladas

RESÍDUO	2018	2019	2020	2021
Comum	3.221,400	3.390,500	3.405,000	3.279,900
Infectante	151,003	141,464	163,700	183,449
Químicos	0,035	0,075	0,058	0,087
Peças Anatômicas	0,025	0,043	0,044	0,018
Recicláveis (papela, papel, plástico, óleo)	0,005	25,454	26,170	32,564
Construção Civil	-	0,234	0,513	0,528
Eletrônicos	0,380	-	-	0,020
Outros (sopro, ferro)	0,010	0,550	0,550	0,173
<b>Total de resíduo</b>	<b>3.377,527</b>	<b>3.558,320</b>	<b>3.596,035</b>	<b>3.496,39</b>

Fonte: Adaptação da autora, 2022

O recicláveis apresentados são da coleta seletiva e os espaços que não estão preenchidos com valores significam que a empresa não computou a quantidade desses resíduos. O gráfico 4 apresenta no decorrer dos últimos 4 anos a média dos resíduos do hospital, sendo esse dado importante para avaliar se houve grandes alterações entre os anos ou permaneceu com resultados próximos.

Gráfico 4- Média da geração dos resíduos nos últimos 4 anos em toneladas



Fonte: Autora, 2022

Os RSS oriundos de hospitais possuem uma grande variedade de elementos, podendo ser específicos do local caracterizados por sua origem biológica, radioativa e química, ou até mesmo outros similares a outros ambientes como os gerados nos domicílios. Através da tabela 4 pode ser analisado mais detalhadamente os custos por resíduo infectante e comum de 2020 a 2022.

Tabela 4- Custo por resíduo por ano

ANO	2020		2021		2022	
Mês	Infectante	Comum	Infectante	Comum	Infectante	Comum
<b>Janeiro</b>	-	-	R\$ 34.324,99	R\$ 8.101,32	R\$ 27.645,71	R\$ 9.291,72
<b>Fevereiro</b>	R\$ 28.747,05	R\$ 7.713,77	R\$ 39.245,80	R\$ 7.285,32	R\$ 34.850,80	R\$ 10.147,18
<b>Março</b>	-	-	R\$ 45.231,14	R\$ 6.901,32	R\$ 39.158,34	R\$ 10.297,98
<b>Abril</b>	R\$ 28.856,61	R\$ 6.670,00	R\$ 65.022,30	R\$ 7.251,72	R\$ 36.696,35	R\$ 11.421,18
<b>Mai</b>	R\$ 35.599,70	R\$ 6.917,97	R\$ 56.008,32	R\$ 7.126,92	R\$ 31.603,02	R\$ 10.375,98
<b>Junho</b>	R\$ 61.094,14	R\$ 7.143,37	R\$ 48.223,67	R\$ 7.554,12	R\$ 35.024,20	R\$ 10.230,38
<b>Julho</b>	R\$ 39.341,75	R\$ 7.750,57	R\$ 34.409,89	R\$ 6.382,92	-	-
<b>Agosto</b>	R\$ 34.188,02	R\$ 8.163,72	R\$ 30.632,91	R\$ 6.704,52	-	-
<b>Setembro</b>	R\$ 30.605,41	R\$ 7.842,12	R\$ 30.169,93	R\$ 6.742,92	-	-
<b>Outubro</b>	R\$ 32.241,05	R\$ 7.539,32	R\$ 28.409,33	R\$ 7.602,12	-	-
<b>Novembro</b>	R\$ 34.797,31	R\$ 7.798,92	R\$ 27.017,46	R\$ 7.405,32	-	-
<b>Dezembro</b>	R\$ 33.657,65	R\$ 7.693,65	R\$ 29.362,52	R\$ 8.096,52	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 359.128,69</b>	<b>R\$ 75.233,41</b>	<b>R\$ 468.058,26</b>	<b>R\$ 87.155,04</b>	<b>R\$ 204.978,42</b>	<b>R\$ 61.764,42</b>

Fonte: Adaptação Autora, 2022

Para estimar a média no ano de 2022 para o resíduo infectante e comum, foram calculados a taxa de crescimento a 30% (tratamento do resíduo infectante) resultando no valor de R\$ 479.071,63.

Para a coleta do resíduo comum, aplicando a uma taxa de 16% de crescimento entre os anos anteriores e aplicado para 2022, a sua média anual do custo é R\$ 87.784,75. Na tabela acima apresenta os valores para tratamento do resíduo infectante e comum, entretanto os serviços de coleta não são inclusos de acordo com o contrato da empresa que presta o serviço e o hospital. Deste modo, a tabela 5 faz o demonstrativo dos valores somente para a coleta de resíduo infectante no decorrer dos anos.

Tabela 5- Custo para coleta do resíduo infectante por ano

2020	2021	2022
-	R\$ 4.139,57	R\$ 3.334,05
R\$ 3.463,50	R\$ 5.075,43	R\$ 4.184,51
-	R\$ 5.454,84	R\$ 4.701,71
R\$ 3.736,60	R\$ 8.515,71	R\$ 5.493,12
R\$ 4.608,73	R\$ 6.754,56	R\$ 4.508,44
R\$ 7.360,74	R\$ 5.815,74	R\$ 4.548,29
R\$ 4.739,97	R\$ 5.061,02	-
R\$ 4.123,05	R\$ 4.036,46	-
R\$ 3.690,99	R\$ 3.638,47	-
R\$ 3.888,25	R\$ 3.767,40	-
R\$ 4.196,53	R\$ 3.591,20	-
R\$ 4.734,54	R\$ 3.882,80	-
<b>R\$ 4.454,29</b>	<b>R\$ 4.977,77</b>	<b>R\$ 4.461,69</b>

Fonte: Dados fornecidos pelo hospital

Para estimar a média da coleta do resíduo perigoso também foi aplicado a taxa de crescimento em 12% resultando em uma média anual de R\$ 4.998,27. Importante definir que tipo de resíduos e onde são gerados para melhor caracterização do rejeito hospitalar. Na tabela 6, pode-se analisar os tipos de resíduos nos diversos setores de um hospital.

Tabela 6- Tipos de resíduos gerados por unidade de um hospital

UNIDADE GERADORA	TIPO DE RESÍDUO
Setor administrativo	Papéis, papelão, toners de impressoras, copos plásticos, grampos, etc.
Área de apoio (limpeza, cozinha, manutenção)	Papelão, caixa, embalagens de produtos de limpeza, panos, papéis, latas, tambores, garrafas, resíduos de varrição, podas de jardins, restos de alimentos, lâmpadas, metais, graxas, latas de tintas, resíduos de construção ou pequenas reformas, etc.
Laboratórios clínicos, necrotérios	Papéis, sangue, tecidos humanos, órgãos, ossos, embalagens, vidrarias, vidros cortantes, luvas descartáveis contaminadas, etc.

Enfermaria	Ampolas, agulhas, seringas descartáveis, gazes, algodão, papéis, vidros de remédios, luvas cirúrgicas, fraldas, produtos de higiene pessoal, etc.
Centro obstétrico	Roupas sujas, gazes, luvas cirúrgicas, seringas descartáveis, agulhas, máscaras, placenta, bolsas de sangue, frascos descartáveis, máscaras descartáveis, etc.
Centro cirúrgico e emergência	Roupas sujas, gazes, luvas cirúrgicas, seringas descartáveis, agulhas, bolsas de sangue, gesso, partes amputadas, tecido humano, conjuntos de lavagem intestinal, etc.

Fonte: IPT/CEMPRE, 2000

## 5.2 Etapas de manejo e padronização

A metodologia utilizada para segregação é separar somente os resíduos perigosos para serem encaminhados para o sistema de tratamento por autoclaves. Os materiais necessários para a coleta desses resíduos, como por exemplo, os carrinhos para transporte interno, armazenamento interno e externo, equipamentos de segurança da equipe, já se encontram bem definidos e aplicados no hospital.

As salas de resíduos ou baía de resíduos (armazenamento externo) conhecido pelo hospital deve ser planejado para incluir a máquina de autoclavagem podendo ser de médio porte, o qual atenderia a demanda. O hospital já tem áreas divididas para cada grupo de resíduos, logo não seriam grandes mudanças no ambiente.

As rotas de coleta ocorrem três vezes ao plantão da manhã e duas para o plantão da noite, podendo ser adicionadas mais, dependendo da necessidade do setor. Os horários normalmente são: 4h, 7h, 15h, 17h, 20h. As coletas permaneceriam sob responsabilidade da supervisão de Hotelaria.

## 5.3 Máquinas Disponíveis no Brasil

Essa fase consistiu em selecionar e realizar os levantamentos de algumas tecnologias que podem ser aplicadas no hospital desse estudo, analisando suas condições de forma geral para aplicação do sistema. Logo, através de obter informações estruturais e operacionais do ambiente, foi possível constatar que o melhor maquinário para o tratamento de resíduos infectantes do hospital deveria ser mais compacto possível devido ao espaço limitado

que pode ocupar, que permitisse a diminuição dos resíduos, como sistema de trituração, e um tratamento efetivo. Além de atender a demanda de geração dos resíduos, e ser de fácil operacional.

Com essas características no equipamento é possível não ocupar tanto espaço, diminuição dos resíduos e não necessitar de mão de obra especializada para sua operação, assim todo o funcionamento do sistema ficaria sob a responsabilidade do hospital, utilizando seus próprios funcionários.

### **5.3.1 Modelo A (Autoclave para resíduo hospitalar)**

Em um ciclo de trabalho, em média 50 minutos, esta Autoclave tem capacidade de Esterilização de aproximadamente 80 kg de lixo hospitalar do grupo A, com medidas 950x1500mm. Considerando 8 ciclos por dia, a capacidade por mês (20 dias de trabalho), chega a aproximadamente 12.800 kg/mês. Além disto, esta tecnologia é equipada com controlador lógico programável, interface homem máquina e sistema de comunicação com impressora térmica, para registros de dados do processo de esterilização.

Esse equipamento já vem acompanhado de cesto para acomodação do resíduo dentro da autoclave e carro de movimentação externo para auxiliar a logística do resíduo na planta e impressora para rastreabilidade do processo. Os produtos da marca são equipamentos robustos, para que tenham seus ciclos de vida prolongados ao máximo. A Figura 14, apresenta a estrutura do equipamento.

Figura 14 - Foto ilustrativa do Modelo A



Fonte: [www.ardode.com.br](http://www.ardode.com.br)

### **5.3.2 Modelo B e Modelo D (Autoclavagem e Trituração)**

A empresa detalha seu sistema como uma tecnologia de Autoclavagem com Trituração Mecânica neutraliza o risco na fonte, evitando o transporte de resíduos infectantes perigosos e diminuindo os riscos ao meio ambiente e às pessoas que manipulam o resíduo contaminado. O funcionamento é dividido em três etapas: carga, trituração e desinfecção. A empresa fornece dois modelos de mesma linha: Modelo B e Modelo D, com capacidades de 80 kg (370x360mm), 40 kg (320x247mm), respectivamente.

O Triturador é especialmente projetado para transformar resíduos em peças não identificáveis de 8 a 10 mm. O lixo é empurrado para o triturador por uma espécie de prensa automática. O sistema é capaz de detectar o nível de resíduos na câmara de trituração para garantir que todos os resíduos tenham sido adequadamente triturados, reduzindo o volume em até 80% e o peso em até 50% (Id, 2022).

O processo de desinfecção consiste em um ciclo convencional de esterilização que ocorre de acordo com as seguintes etapas:

- Extração de ar por meio da bomba de vácuo: o ar extraído é considerado potencialmente contaminado e, portanto, é filtrado por um filtro antes de ser descarregado da câmara;
- Aquecimento: o vapor produzido pelo gerador de vapor incorporado é injetado para preencher e aquecer a câmara por completo, assim como os resíduos sólidos e líquidos. Descontaminação a 135°C e 3200 mbar: o tempo de esterilização pode ser configurado de acordo com a legislação vigente, sendo que o ciclo padrão é de 30 minutos. Os líquidos são armazenados na cavidade no fundo da câmara até o final da fase de descontaminação e, portanto, também são tratados termicamente.
- Resfriamento e retorno à pressão atmosférica: o vapor é liberado da unidade e condensado até que a pressão atmosférica seja atingida. Os líquidos descontaminados também são resfriados e descarregados nos esgotos. Na Figura 15 apresenta um dos modelos disponíveis da empresa para autoclavagem de resíduos infectantes e perfurocortantes.

Figura 15- Foto ilustrativa do Modelo D



Fonte: [www.sterileasy.com.br](http://www.sterileasy.com.br)

### 5.3.3 Modelo C (Autoclave horizontal)

A autoclave é utilizada para a esterilização e descartes de resíduos sólidos e utensílios diversos provenientes de hospitais, indústrias, unidades de pesquisa e centrais de tratamento de resíduos, possuindo tratamento de efluentes sem a liberação de contaminantes no ambiente. O modelo, como apresenta a Figura 16, possui capacidade de 340L, com 136kg por ciclo realizado. Fabricada em aço inoxidável AISI 316L e medidas de 600x1200mm, além de acompanhar um triturador na área interna do equipamento. Possui potência de 21 KWh e funciona através de um gerador elétrico acoplado, além de possuir sensores de temperatura, painel de controle lateral, uma porta volante central. A temperatura pode variar entre 90° C a 135°C.

Através de gerador de vapor acoplado à câmara externa. Fabricado em aço inoxidável AISI 304. Abastecido automaticamente por meio de bomba de água, com funcionamento elétrico feito através de resistências acopladas ao equipamento. Com eletrodos ou boia para controlar o nível de água e cortar a corrente elétrica no caso de obstrução do fornecimento de água, protegendo as resistências contra queima. Externamente revestido com camadas de lã de rocha aluminizada e revestimento externo com chapas galvanizadas para evitar perda de calor e aquecimento do ambiente de trabalho.

Figura 16 - Foto ilustrativa do Modelo C



Fonte: [www.phoenix.ind.br](http://www.phoenix.ind.br)

### 5.3.4 Modelo E (Esterilizador)

É um Esterilizador Automático para ser usado em processos de descontaminação e descaracterização de resíduos sólidos de Classe A. O equipamento contém a câmara de formato cilíndrico de ASTM A 285 C ou Aço Inox (AISI 316L/AISI 304L). Além de possuir um Controlador Lógico Programável flexível com seleção de parâmetros ponto a ponto via IHM.

O sistema ainda oferece a possibilidade de disparar ou escolher o ciclo de trabalho e ajustar a temperatura com faixa mínima de abrangência com variação entre 110°C a 150°C e ajuste do tempo de esterilização, garantindo todos os parâmetros eficientemente programáveis.

A autoclave também possui sensor termoresistência PT-100, transdutor de pressão, transmissor de pressão digital, relés térmicos, sistema de comando de porta (podendo ter uma ou duas), válvulas de segurança e alívio, pressostatos mecânicos ou eletromecânicos. Possui capacidade de 25 a 1000kg/ciclo com aquecimentos nos tipos: elétrico, vapor ou duplo. O Modelo E (1000x2200mm) realiza 100kg/ciclo com volume de 1728L. A Tabela 7 apresenta os resíduos que o sistema recebe.

Tabela 7- Classe de resíduos usados no Modelo E

Classe A - Resíduos Infectantes	
TIPO	DESCRIÇÃO
A.1	Biológico
A.2	Sangue e Hemoderivados
A.3	Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato
A.4	Perfurante e Cortante
A.5	Animal Contaminado
A.6	Assistência ao Paciência

Fonte: [www.setme.ind.br/esterilizadores\\_vapor.php](http://www.setme.ind.br/esterilizadores_vapor.php)

Também possui *touch screen* onde é possível visualizar e programar os parâmetros dos processos como mostra na Figura 17.

Figura 17 - Foto ilustrativa do Modelo E



Fonte: [www.setme.ind.br/esterilizadores\\_vapor.php](http://www.setme.ind.br/esterilizadores_vapor.php)

Não foi possível obter informações suficientes sobre o modelo da empresa SETME, entretanto a tabela 8 apresenta um resumo dos equipamentos disponíveis no país com os dados disponibilizados.

Tabela 8- Resumos dos modelos apresentados

Equipamento	Dimensões (mm)	Capacidade (Kg/ciclo)	Tempo por ciclo (min)	Nº de ciclos por dia	Consumo de energia (kWh)
Modelo A	950x1500	80	50	6	3
Modelo B	370x360	11	30	42	8
Modelo C	600x1200	136	99	4	21
Modelo D	320x247	5	30	89	5
Modelo E	1000x2200	100	-	-	-

Fonte: Adaptação da autora, 2022

#### 5.4 Ciclo de Capacitações

Uma das vantagens do sistema de autoclaves para tratamento de resíduos é a fácil operação, porém isso não elimina a necessidade de capacitar as equipes. Os funcionários treinados seriam da supervisão de hotelaria, pois comanda o setor de higienização, os membros do setor Gestão Ambiental e os colaboradores da coleta de resíduos infectantes, além do SESMT com o apoio da equipe técnica do maquinário.

Como são dois plantões diferentes, é necessário que a cada plantão tenha uma equipe preparada e capacitada para a operação do sistema. O ciclo de treinamento seria semestral, para reforçar o aprendizado, ensinar novos funcionários e caso ocorra alteração da equipe, com supervisão contínua, afim de garantir o pleno funcionamento da autoclave e segurança dos colaboradores. Os treinamentos iriam abordar as seguintes temáticas: biossegurança, operação e manutenção do sistema, tipos de riscos, uso de EPIs.

Durante as vistorias foram notados erros recorrentes de manejo dos resíduos, principalmente na etapa de segregação. Logo, para que haja melhora no fluxo dos resíduos é necessário que os funcionários tenham claro conhecimento sobre as normas e leis regem o tema e entender a classificação dos resíduos. Para obter melhor capacitação dos funcionários, envolvidos ou não na operação do sistema de autoclavagem, se faz necessário ciclos de treinamentos semestrais bem focados no manejo dos RSS, sensibilizando todos sobre seu papel.

Além dos ciclos de capacitações programados, o hospital pode investir em educação ambiental por meios de informativos, apresentar dados sobre o resultado final de geração, financeiro e ambientalmente, informando sobre os benefícios para todos das ações corretas. Além de solicitar auxílio da empresa que oferecerá o equipamento para treinamento especializado em sua operação.

### **5.5 Aquisição do Sistema de Autoclavagem**

Como apresentado, existem equipamentos disponíveis e que pode atender as necessidades do empreendimento. Parâmetros como o volume da quantidade de resíduos, disponibilidade de espaço, treinamento de pessoal, devem ser observados antes da implantação da autoclave. Essas especificações devem estar bem estabelecidas para melhor reconhecimento do sistema de tratamento por autoclaves que melhor atende o hospital.

### **5.6 Impactos Ambientais**

Devido seu alto grau de risco a saúde humana e meio ambiente, o sistema de autoclavagem vem como proposta para diminuir a quantidade desses resíduos que são encaminhados para a incineração, dando outra disposição final. Considerando que o uso de autoclaves é simples e proporciona redução do potencial de riscos dos resíduos perigosos.

E com a autoclavagem, pode utilizar os recicláveis para serem encaminhados para uma CDR, que possui menor impacto ambiental durante seu processo. Entretanto é necessário que seja analisado a gravimetria do resíduo infectante, estudando seu poder calorífico e sua viabilidade como destinação de CDR. Estudos como quantificação, caracterização de potencial

energético e das concentrações seriam alguns critérios para se chegar na resposta da possibilidade do uso para combustível derivado de resíduos. Deste modo, o resíduo inicialmente encaminhado para aterros, poderia ter uma destinação final de menor impacto ambiental, produzindo menos emissões de gases do efeito estufa.

## **6. ANÁLISE ECONÔMICA DOS EQUIPAMENTOS**

Após adquirir os orçamentos dos equipamentos de autoclavagem disponíveis no país, foi realizada análise econômica aplicando o método de *Payback* Descontado. A abordagem foi feita para o cenário de dez anos considerando a capacidade de cada equipamento em grande e menor porte disponíveis no país.

### **6.1 Equipamentos de grande porte**

O Modelo A, possui sistema de tratamento de resíduos perigosos com capacidade de 80 kg/h. Os ciclos de trabalho possuem, em média, 50 minutos, ou seja, permite 6 ciclos/dia resultando em uma capacidade diária de 480,0 kg. Já a estimativa mensal é de 14.880 kg/mês.

Já o Modelo B, possui capacidade de 80kg para tratamento de resíduo infectante e perfurocortante. O ciclo de trabalho tem duração de 30 a 35 minutos, porém recebe 11kg/ciclo, sendo necessários 42 ciclos/dia. Para atender a demanda média diária do hospital, o equipamento consegue tratar 462 kg de resíduo/dia. Deste modo, no final do mês a capacidade estimada será 14.322 kg/mês.

O Modelo C, possui grande capacidade de 136 kg e a cada ciclo tem a duração de 99 minutos. Assim, serão necessários 4 ciclos/dia atendendo diariamente 544 kg de resíduo tratado e resultando em uma média mensal de 16.864 kg/mês.

### **6.2 Equipamentos de menor porte**

O Modelo D, possui capacidade de 40 kg, porém a cada ciclo o equipamento suporta 5 kg. O ciclo dura em média 30 minutos, deste modo seriam necessários 89 ciclos/dia para atender a demanda diária do hospital de 444,18 kg. Nesse caso seria mais adequado a inclusão de mais um equipamento trabalhando simultaneamente. A capacidade do modelo por dia é 445 kg e por mês equivale a 13.795 kg/mês de resíduos tratados.

Com dois equipamentos, seria 10kg/dia, com cada um realizando 45 ciclos/dia. Desse modo as capacidades diárias e mensais continuam as mesmas. A tabela 8 traz um resumo dos equipamentos mencionados.

Tabela 9- Informações gerais dos equipamentos

<b>Empresas de grande porte</b>			
Equipamento	Modelo A	Modelo B	Modelo C
Capacidade por ciclo (kg)	80	11	136
Tempo do ciclo (min)	50	30	99
Ciclos por dia	6	42	4
Capacidade diária (kg)	480	462	544
Valor do equipamento (R\$)	339.000	1.500.000	339.920
<b>Empresas de menor porte</b>			
Equipamento	Modelo D		
Capacidade por ciclo (kg)	5		
Tempo do ciclo (min)	30		
Ciclos por dia	89		
Capacidade diária (kg)	445		
Valor do equipamento (R\$)	1.500.000		

Fonte: Autora, 2022

### 6.2.1 Custo com Energia Elétrica

O Modelo A consome 3,00 kWh por ciclo, logo, para tratar 444,18 kg/dia dos resíduos perigosos gerados no hospital, seriam necessários 6 ciclos, totalizando 18,00 kWh/dia. Com a tarifa de energia calculado com a média feita para 2022 no estado do Ceará como apresenta a Tabela 9, tem o valor de R\$ 1,00/kWh. Logo, o consumo de energia elétrica custará R\$ 18,00 por dia com estimativa anual, 365 dias, no valor de R\$ 6.570,00.

O Modelo B consome 8,00 kWh por ciclo. Para tratar a média diária do hospital precisa de 42 ciclos/dia, ficando um consumo de 336,00 kWh/dia. Assim o valor para energia elétrica será R\$ 336,00/dia, e anualmente terá um custo de R\$ 122.640,00.

O Modelo C consome 21,00 kWh em até 99 minutos por ciclo. Com a demanda do hospital, o equipamento precisa realizar 4 ciclos, assim em um dia o valor fica R\$ 84,00. Portanto, para o período de um ano o valor para consumo de energia elétrica fica R\$ 30.660,00.

O Modelo D consome 5,00 kWh por ciclo. Considerando dois equipamentos no hospital, serão 89 ciclos/dias resultando no valor de R\$ 445,00 por dia. A média anual será de R\$ 162.425,00 para energia elétrica.

Tabela 10- Média diária do valor por kWh em 2022

Mês	PIS	Cofins	ICMS	TUSD	TE	Bandeira	Tarifa sem Tributos	Tarifa com Tributos
<b>JAN/22</b>	0,47%	2,14%	27%	331,58	257,2	142,00	0,73078	1,02790
<b>FEV/22</b>	0,68%	3,09%	27%	331,58	257,2	142,00	0,73078	1,04029
<b>MAR/22</b>	0,67%	3,08%	27%	331,58	257,2	142,00	0,73078	1,04007

<b>ABR/22</b>	0,78%	3,64%	27%	331,58	257,2	71,00	0,65978	0,94560
<b>MAI/22</b>	0,69%	3,19%	27%	426,66	304,79	0,00	0,73145	1,04243
<b>JUN/22</b>	0,81%	3,75%	27%	426,66	304,79	0,00	0,73145	1,04986
<b>JUL/22</b>	0,97%	4,47%	20%	413,73	295,61	0,00	0,70934	0,93769
<b>AGO/22</b>	0,77%	3,53%	20%	413,73	295,61	0,00	0,70934	0,92652
							<b>MÉDIA</b>	<b>1,00129</b>

Fonte: ANEEL, 2022

### 6.2.2 Aplicação dos equipamentos

A empresa representante do Modelo A enviou o orçamento com a melhor sugestão de equipamento baseado no volume mensal de RSS gerados no hospital. A autoclave completa custa R\$ 250.000,00 e a caldeira que possui 100 kg/h de vapor, R\$ 89.000,00. Logo, o valor total é R\$ 339.000,00. A caldeira geradora de vapor pode ser adicionada ou não, dependendo da necessidade da empresa. Com o adicional de despesas do capital de 20%, o valor total para implantação desse equipamento é R\$ 406.800,00.

Sobre o Modelo B, a empresa enviou o orçamento no valor total sem frete é R\$ 1.500.000,00, somado aos 20%, o equipamento tem valor total de R\$ 1.800.000,00.

A empresa representante do Modelo C também enviou o orçamento considerando a demanda do hospital e disponibilidade dos seus equipamentos. Com o modelo 39206R, o valor do equipamento é R\$ 333.920,00, adicionando o frete de R\$ 990,00 e o adicional de 20% referente ao custo de capital, R\$ 401.694,00.

Para o Modelo D, adicionando dois equipamentos para suprir a demanda do hospital, o valor total com adicional de 20% é R\$ 3.300.000,00.

Analisando o investimento aplicado no equipamento e o custo de energia elétrica no decorrer de um ano, aplicou-se o método de *Payback* Descontado com uma taxa mínima de atratividade-TMA baseado na taxa Selic de 13,75% ao ano. A tabela 11 apresenta o resumo dos valores totais de cada equipamento com a despesa de capital.

Tabela 11- Valor total de cada equipamento

Equipamento	Qtd.	Valor	Despesas de capital	Total
<b>Modelo A</b>	1	R\$ 339.000,00	20%	R\$ 406.800,00
<b>Modelo B</b>	1	R\$ 1.500.000,00	20%	R\$ 1.800.000,00
<b>Modelo C</b>	1	R\$ 339.920,00	20%	R\$ 401.694,00
<b>Modelo D</b>	2	R\$ 3.000.000,00	20%	R\$ 3.300.000,00

Fonte: Autora, 2022

### 6.3 Fluxo de Caixa

Para o cálculo do fluxo de caixa foram adicionados os custos de 2% referente a manutenção do equipamento e 5,6% para o custo de energia elétrica a partir de 2023. E a TMA em 13,75%. Também foi aplicado uma taxa de crescimento do custo de 0,3 no decorrer dos anos.

### 6.4 Estimativa do custo de resíduo infectante

Para estimar a receita foi aplicado a taxa de crescimento de 0,3 no tratamento de resíduo infectante no horizonte de dez anos como mostra a tabela 12.

Tabela 12- Tratamento do resíduo infectante no horizonte de dez anos

ANO	INFECTANTE		
	2020	2021	2022
<b>Mês</b>			
<b>Janeiro</b>	-	R\$ 34.324,99	R\$ 27.645,71
<b>Fevereiro</b>	R\$ 28.747,05	R\$ 39.245,80	R\$ 34.850,80
<b>Março</b>	-	R\$ 45.231,14	R\$ 39.158,34
<b>Abril</b>	R\$ 28.856,61	R\$ 65.022,30	R\$ 36.696,35
<b>Mai</b>	R\$ 35.599,70	R\$ 56.008,32	R\$ 31.603,02
<b>Junho</b>	R\$ 61.094,14	R\$ 48.223,67	R\$ 35.024,20
<b>Julho</b>	R\$ 39.341,75	R\$ 34.409,89	-
<b>Agosto</b>	R\$ 34.188,02	R\$ 30.632,91	-
<b>Setembro</b>	R\$ 30.605,41	R\$ 30.169,93	-
<b>Outubro</b>	R\$ 32.241,05	R\$ 28.409,33	-
<b>Novembro</b>	R\$ 34.797,31	R\$ 27.017,46	-
<b>Dezembro</b>	R\$ 33.657,65	R\$ 29.362,52	-
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 359.128,69</b>	<b>R\$ 468.058,26</b>	<b>R\$ 421.878,69</b>

Fonte: Autora, 2022

Da mesma maneira foi aplicado para a coleta do resíduo comum resultando uma taxa de 0,12 para 2022, a tabela 13 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 13- Coleta do resíduo comum no horizonte de dez anos

ANO	COMUM		
	2020	2021	2022
<b>Mês</b>			
<b>Janeiro</b>	-	R\$ 8.101,32	R\$ 9.291,72
<b>Fevereiro</b>	R\$ 7.713,77	R\$ 7.285,32	R\$ 10.147,18
<b>Março</b>	-	R\$ 6.901,32	R\$ 10.297,98
<b>Abril</b>	R\$ 6.670,00	R\$ 7.251,72	R\$ 11.421,18
<b>Mai</b>	R\$ 6.917,97	R\$ 7.126,92	R\$ 10.375,98
<b>Junho</b>	R\$ 7.143,37	R\$ 7.554,12	R\$ 10.230,38

<b>Julho</b>	R\$ 7.750,57	R\$ 6.382,92	-
<b>Agosto</b>	R\$ 8.163,72	R\$ 6.704,52	-
<b>Setembro</b>	R\$ 7.842,12	R\$ 6.742,92	-
<b>Outubro</b>	R\$ 7.539,32	R\$ 7.602,12	-
<b>Novembro</b>	R\$ 7.798,92	R\$ 7.405,32	-
<b>Dezembro</b>	R\$ 7.693,65	R\$ 8.096,52	-
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 75.233,41</b>	<b>R\$ 87.155,04</b>	<b>R\$ 61.764,42</b>

Fonte: Autora, 2022

Após os cálculos, os custos representados pelas novas receitas para dez anos no tratamento dos resíduos infectantes e coleta do resíduo comum é apresentado na tabela 14.

Tabela 14- Estimativa das receitas

<b>Estimativa das receitas</b>		
<b>ANO</b>	<b>Tratamento - Infectante</b>	<b>Coleta - Comum</b>
2023	R\$465.048,3152	R\$ 57.661,25
2024	R\$512.635,3687	R\$ 53.830,67
2025	R\$565.091,8682	R\$ 50.254,56
2026	R\$622.916,0901	R\$ 46.916,02
2027	R\$686.657,2979	R\$ 43.799,27
2028	R\$756.920,9598	R\$ 40.889,57
2029	R\$834.374,4996	R\$ 38.173,17
2030	R\$919.753,6369	R\$ 35.637,23
2031	R\$1.013.869,3751	R\$ 33.269,76
2032	R\$1.117.615,7056	R\$ 31.059,56

Fonte: Autora, 2022

## 6.5 Estimativa da geração de resíduos

Levando em consideração a eficiência e durabilidade do equipamento no decorrer dos anos foi realizada uma estimativa do aumento da geração de resíduos dos serviços de saúde no horizonte de dez anos a fim de estimar qual autoclave poderia ser útil a longo prazo. A tabela 15 apresenta a geração dos resíduos.

Tabela 15- Estimativa anual da geração de RSS em 10 anos

<b>Geração de RSS em toneladas</b>	
<b>Ano</b>	<b>Infectante</b>
2018	151
2019	141
2020	164
2021	183

2022	197
2023	211
2024	226
2025	242
2026	259
2027	278
2028	298
2029	319
2030	342
2031	366
2032	392

Fonte: Autora, 2022

A estimativa foi realizada com a aplicação da taxa de crescimento na geração de resíduos de 0,07, dessa forma foi calculado a taxa através dos valores de geração dos resíduos dos serviços de saúde nos de 2018 a 2021 em toneladas. A partir dos valores é possível identificar a quantidade gerada de cada ano e analisar a quantidade de ciclos de cada autoclave com seu respectivo custo como mostra na tabela 16.

Tabela 16- Geração diária de RSS em kg

Ano	Geração de RSS/dia	Ano	Geração de RSS/dia
2023	585,11	2028	826,62
2024	626,98	2029	885,76
2025	671,84	2030	949,14
2026	719,91	2031	1.017,06
2027	771,42	2032	1.089,83

Fonte: Autora, 2022

### 6.5.1 Payback no horizonte de dez anos

Como previsto pela ANEEL, em 2023 poderá haver um acréscimo na conta de energia de 5,6%, deste modo, para estimar o custo de energia elétrica no horizonte de dez anos foi utilizado essa porcentagem para realização dos cálculos do uso de energia de acordo com a quantidade de ciclos de cada equipamento, além do custo de manutenção de 2%. Também foi utilizado uma taxa de crescimento dos custos em 0,3 aplicado em dez anos nos cálculos do fluxo de caixa como apresenta a tabela 17.

Tabela 17- Fluxo de caixa do Modelo A em dez anos

<b>Equipamento – Modelo A</b>				
<b>Ano</b>	<b>Receita (Inf.tratado/ano)</b>	<b>Custo Variável (Custo com energia)5,6%</b>	<b>Custo Fixo (Manutenção)2%</b>	<b>Fluxo</b>
1	R\$ 479.071,73	R\$ 8.457,21	R\$ 8.136,00	R\$ 462.478,52
2	R\$ 622.793,25	R\$ 8.930,81	R\$ 8.136,00	R\$ 605.726,44
3	R\$ 809.631,22	R\$ 9.430,94	R\$ 8.136,00	R\$ 792.064,28
4	R\$ 1.052.520,59	R\$ 9.959,07	R\$ 8.136,00	R\$ 1.034.425,52
5	R\$ 1.368.276,77	R\$ 10.516,78	R\$ 8.136,00	R\$ 1.349.623,99
6	R\$ 1.778.759,80	R\$ 11.105,72	R\$ 8.136,00	R\$ 1.759.518,08
7	R\$ 2.312.387,74	R\$ 11.727,64	R\$ 8.136,00	R\$ 2.292.524,10
8	R\$ 3.006.104,06	R\$ 12.384,39	R\$ 8.136,00	R\$ 2.985.583,67
9	R\$ 3.907.935,28	R\$ 13.077,91	R\$ 8.136,00	R\$ 3.886.721,36
10	R\$ 5.080.315,86	R\$ 13.810,28	R\$ 8.136,00	R\$ 5.058.369,58

Fonte: Autora, 2022

Baseado no fluxo de caixa foi possível definir os valores dos indicadores de viabilidade como apresenta a tabela 18.

Tabela 18 – VPL do Modelo A em dez anos

<b>Equipamento – Modelo A</b>			
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de caixa</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP acumulado</b>
0	-R\$ 406.800,00	-R\$406.800,00	-R\$406.800,00
1	R\$ 462.478,52	R\$406.574,52	-R\$225,48
2	R\$ 605.726,44	R\$468.137,81	R\$467.912,33
3	R\$ 792.064,28	R\$538.153,56	R\$1.006.065,89
4	R\$ 1.034.425,52	R\$617.865,01	R\$1.623.930,90
5	R\$ 1.349.623,99	R\$708.689,11	R\$2.332.620,02
6	R\$ 1.759.518,08	R\$812.241,74	R\$3.144.861,75
7	R\$ 2.292.524,10	R\$930.366,52	R\$4.075.228,27
8	R\$ 2.985.583,67	R\$1.065.167,74	R\$5.140.396,01
9	R\$ 3.886.721,36	R\$1.219.047,87	R\$6.359.443,88
10	R\$ 5.058.369,58	R\$1.394.750,43	R\$7.754.194,31

Fonte: Autora, 2022

A partir dos cálculos, o equipamento obteve um VPL de R\$ 467.912,33. Aplicando uma taxa de atratividade de 13,27%, a taxa interna de retorno de 144% o retorno do investimento resultou em 1,13. Da mesma maneira foi aplicado o fluxo de caixa do equipamento Steriplus 80 como apresenta a tabela 19.

Tabela 19- Fluxo de caixa do Modelo B em dez anos

<b>Equipamento – Modelo B</b>				
<b>Ano</b>	<b>Receita (Inf.tratado/ano)</b>	<b>Custo Variável (Custo com energia)5,6%</b>	<b>Custo Fixo (Manutenção)2%</b>	<b>Fluxo</b>
1	R\$ 479.071,73	R\$ 164.018,66	R\$ 36.000,00	R\$ 279.053,07
2	R\$ 622.793,25	R\$ 173.203,70	R\$ 36.000,00	R\$ 413.589,54
3	R\$ 809.631,22	R\$ 182.903,11	R\$ 36.000,00	R\$ 590.728,11
4	R\$ 1.052.520,59	R\$ 193.145,69	R\$ 36.000,00	R\$ 823.374,90
5	R\$ 1.368.276,77	R\$ 203.961,85	R\$ 36.000,00	R\$ 1.128.314,92
6	R\$ 1.778.759,80	R\$ 215.383,71	R\$ 36.000,00	R\$ 1.527.376,09
7	R\$ 2.312.387,74	R\$ 227.445,20	R\$ 36.000,00	R\$ 2.048.942,54
8	R\$ 3.006.104,06	R\$ 240.182,13	R\$ 36.000,00	R\$ 2.729.921,93
9	R\$ 3.907.935,28	R\$ 253.632,33	R\$ 36.000,00	R\$ 3.618.302,95
10	R\$ 5.080.315,86	R\$ 267.835,74	R\$ 36.000,00	R\$ 4.776.480,12

Fonte: Autora, 2022

A tabela 20 apresenta o resultado do VPL do modelo como possível equipamento viável para uso a longo prazo.

Tabela 20- VPL do Modelo B em dez anos

<b>Equipamento – Modelo B</b>			
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de caixa</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP acumulado</b>
0	-R\$ 1.800.000,00	<b>-R\$1.800.000,00</b>	<b>-R\$1.800.000,00</b>
1	R\$ 279.053,07	R\$245.321,38	<b>-R\$1.554.678,62</b>
2	R\$ 413.589,54	R\$319.644,13	<b>-R\$1.235.034,48</b>
3	R\$ 590.728,11	R\$401.359,38	<b>-R\$833.675,10</b>
4	R\$ 823.374,90	R\$491.803,94	<b>-R\$341.871,16</b>
5	R\$ 1.128.314,92	R\$592.479,47	R\$250.608,31
6	R\$ 1.527.376,09	R\$705.078,64	R\$955.686,95
7	R\$ 2.048.942,54	R\$831.514,72	R\$1.787.201,67
8	R\$ 2.729.921,93	R\$973.955,21	R\$2.761.156,88
9	R\$ 3.618.302,95	R\$1.134.859,97	R\$3.896.016,85
10	R\$ 4.776.480,12	R\$1.317.024,70	R\$5.213.041,55

Fonte: Autora, 2022

Assim, no decorrer de dez anos o equipamento terá um VPL de R\$ 250.608,31 resultando em uma TIR de 42% e *Payback* de 4,64. A tabela 21 apresenta o fluxo de caixa do Modelo C calculado a partir dos valores dos custos e do equipamento.

Tabela 21- Fluxo de caixa do Modelo C em dez anos

<b>Equipamento – Modelo C</b>				
<b>Ano</b>	<b>Receita (Inf.tratado/ano)</b>	<b>Custo Variável (Custo com energia)5,6%</b>	<b>Custo Fixo (Manutenção)2%</b>	<b>Fluxo</b>
1	R\$ 479.071,73	R\$ 34.823,81	R\$ 8.033,88	R\$ 436.214,04
2	R\$ 622.793,25	R\$ 36.773,94	R\$ 8.033,88	R\$ 577.985,43
3	R\$ 809.631,22	R\$ 38.833,28	R\$ 8.033,88	R\$ 762.764,06
4	R\$ 1.052.520,59	R\$ 41.007,95	R\$ 8.033,88	R\$ 1.003.478,76
5	R\$ 1.368.276,77	R\$ 43.304,39	R\$ 8.033,88	R\$ 1.316.938,49
6	R\$ 1.778.759,80	R\$ 45.729,44	R\$ 8.033,88	R\$ 1.724.996,48
7	R\$ 2.312.387,74	R\$ 48.290,29	R\$ 8.033,88	R\$ 2.256.063,57
8	R\$ 3.006.104,06	R\$ 50.994,54	R\$ 8.033,88	R\$ 2.947.075,64
9	R\$ 3.907.935,28	R\$ 53.850,24	R\$ 8.033,88	R\$ 3.846.051,16
10	R\$ 5.080.315,86	R\$ 56.865,85	R\$ 8.033,88	R\$ 5.015.416,13

Fonte: Autora, 2022

A partir do fluxo de caixa do equipamento e respectivos custos seus resultados foram apresentados na tabela 22.

Tabela 22- VPL do Modelo C em dez anos

<b>Equipamento – Modelo C</b>			
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de caixa</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP acumulado</b>
0	-R\$ 401.694,00	-R\$401.694,00	-R\$401.694,00
1	R\$ 436.214,04	R\$383.484,87	-R\$18.209,13
2	R\$ 577.985,43	R\$446.698,07	R\$428.488,94
3	R\$ 762.764,06	R\$518.246,06	R\$946.735,00
4	R\$ 1.003.478,76	R\$599.380,44	R\$1.546.115,43
5	R\$ 1.316.938,49	R\$691.525,92	R\$2.237.641,36
6	R\$ 1.724.996,48	R\$796.305,62	R\$3.033.946,98
7	R\$ 2.256.063,57	R\$915.569,88	R\$3.949.516,86
8	R\$ 2.947.075,64	R\$1.051.429,21	R\$5.000.946,07
9	R\$ 3.846.051,16	R\$1.206.291,89	R\$6.207.237,96
10	R\$ 5.015.416,13	R\$1.382.906,82	R\$7.590.144,78

Fonte: Autora, 2022

O modelo possui o VPL de R\$ 428.488,94, com TIR de 140% e *Payback* de 1,17. A tabela 23 apresenta o fluxo de caixa do Modelo D, considerando dois equipamentos sendo utilizados para tratamento dos RSS do hospital.

Tabela 23- Fluxo de caixa do Modelo D em dez anos

<b>Equipamento – Modelo</b>				
<b>Ano</b>	<b>Receita (Inf.tratado/ano)</b>	<b>Custo Variável (Custo com energia)5,6%</b>	<b>Custo Fixo (Manutenção)2%</b>	<b>Fluxo</b>
1	R\$ 479.071,73	R\$ 222.525,66	R\$ 66.000,00	R\$ 190.546,07
2	R\$ 622.793,25	R\$ 234.987,10	R\$ 66.000,00	R\$ 321.806,15
3	R\$ 809.631,22	R\$ 248.146,37	R\$ 66.000,00	R\$ 495.484,85
4	R\$ 1.052.520,59	R\$ 262.042,57	R\$ 66.000,00	R\$ 724.478,02
5	R\$ 1.368.276,77	R\$ 276.716,96	R\$ 66.000,00	R\$ 1.025.559,81
6	R\$ 1.778.759,80	R\$ 292.213,10	R\$ 66.000,00	R\$ 1.420.546,69
7	R\$ 2.312.387,74	R\$ 308.577,04	R\$ 66.000,00	R\$ 1.937.810,70
8	R\$ 3.006.104,06	R\$ 325.857,35	R\$ 66.000,00	R\$ 2.614.246,71
9	R\$ 3.907.935,28	R\$ 344.105,36	R\$ 66.000,00	R\$ 3.497.829,91
10	R\$ 5.080.315,86	R\$ 363.375,27	R\$ 66.000,00	R\$ 4.650.940,60

Fonte: Autora, 2022

A tabela 24 apresenta o resultado que define os valores dos indicadores usados para viabilidade econômica.

Tabela 24- VPL do Modelo D em dez anos

<b>Equipamento – Modelo D</b>			
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de caixa</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP acumulado</b>
0	-R\$ 3.300.000,00	<b>-R\$3.300.000,00</b>	<b>-R\$3.300.000,00</b>
1	R\$ 190.546,07	R\$167.513,03	<b>-R\$3.132.486,97</b>
2	R\$ 321.806,15	R\$248.709,02	<b>-R\$2.883.777,95</b>
3	R\$ 495.484,85	R\$336.648,10	<b>-R\$2.547.129,86</b>
4	R\$ 724.478,02	R\$432.732,58	<b>-R\$2.114.397,28</b>
5	R\$ 1.025.559,81	R\$538.522,64	<b>-R\$1.575.874,64</b>
6	R\$ 1.420.546,69	R\$655.763,26	<b>-R\$920.111,38</b>
7	R\$ 1.937.810,70	R\$786.414,50	<b>-R\$133.696,88</b>
8	R\$ 2.614.246,71	R\$932.685,72	R\$798.988,84
9	R\$ 3.497.829,91	R\$1.097.074,30	R\$1.896.063,14
10	R\$ 4.650.940,60	R\$1.282.409,54	R\$3.178.472,67

Fonte: Autora, 2022

O Modelo D possui VPL de 798.988,84, TIR de 26% e *Payback* de 7,27. Reunindo os resultados do VPL, TIR e *Payback* Descontado de todos os equipamentos para o cenário de dez anos temos os seguintes valores na tabela 25.

Tabela 25- VPL, TIR, *Payback* Descontado no horizonte de dez anos

Equipamento	VPL	TIR	Payback Descontado (anos)
Modelo A	R\$ 467.912,33	144%	1,13
Modelo B	R\$ 250.608,31	42%	4,64
Modelo C	R\$ 428.488,94	140%	1,17
Modelo D	R\$ 798.988,84	26%	7,27

Fonte: Autora, 2022

Todas as autoclaves possuem VPL positivo, entretanto para os cálculos no horizonte de dez anos os dois equipamentos mais atrativos com a estimativa de crescimento na geração dos resíduos é o Modelo A e o Modelo C. As duas máquinas possuem TIR bem maior que o TMA, sendo mais viável financeiramente comparado com as outras máquinas, além de possuírem menor tempo de retorno do investimento aplicado, sendo de 1,13 (Modelo A) e 1,17 (Modelo C).

O Modelo B e Modelo D possuem um tempo de retorno grande, 4,67 e 7,27. No caso do Modelo D, seu *payback* é próximo a horizonte do projeto o colocando em desvantagens em relação aos demais. Além dos resultados obtidos pelos indicadores, deve-se considerar os critérios da organização para viabilizar também estruturalmente a implantação do sistema.

## 7. CONCLUSÃO

O objetivo da pesquisa foi, portanto, propor um atual modelo de gerenciamento de resíduos sólidos infectante do hospital localizado no município de Fortaleza, Ceará, apresentando o tratamento dos resíduos perigosos através do sistema de autoclavagem, visando contribuir com a sustentabilidade no local e meio ambiente. Foram feitos comparativos de valores no atual modelo com a proposta, além de apresentar os benefícios que a autoclave possui. Deste modo, ao final desse estudo é possível ser utilizado como base para conhecimento mais claro sobre o funcionamento de autoclaves como tratamento dos resíduos e visualizar a viabilidade da instalação de uma autoclave.

Para esse trabalho, foram necessárias pesquisas bibliográficas, associando os resíduos dos serviços de saúde e seus impactos negativos ao meio ambiente e seu custo para disposição final, apontando possíveis propostas para melhor tratamento do mesmo com menor impacto ambiental utilizando a geração de resíduos para alternativas mais sustentáveis.

No cenário de dez anos o Modelo A possui VPL R\$ 467.912,33, TIR de 144% e *Payback* de 1,13. Para o Modelo B, VPL de R\$250.608,31, TIR de 42%, *Payback* de 4,64. Já o Modelo C possui VPL R\$ 428.488,94, TIR de 140% e *Payback* de 1,17. O Modelo D possui VPL de R\$ 798.988,84, TIR de 26% e *Payback* de 7,27.

Dentro dos critérios do local como a boa eficiência do equipamento, facilidade na operação, pouca demanda na disponibilidade de área e que permitisse a redução dos resíduos através de um sistema de trituração, o Modelo C é mais adequado, e em segundo o Modelo A. Assim, o hospital que possui custo para tratamento de resíduo infectante próximo no valor de R\$ 500.000,00, com a implantação da proposta, ele irá conseguir pagar o equipamento em menor valor e em pouco tempo.

Conhecendo a realidade atual do hospital, constatou-se a importância para capacitação dos funcionários devido aos problemas de manejo encontrados, com o objetivo de garantir o fluxo correto do resíduo e a segurança das pessoas. Além de garantir que o sistema de autoclavagem seja utilizado somente para os resíduos perigosos gerados. Mas pode-se observar os esforços da unidade em seguir corretamente com manejo correto dos rejeitos e o olhar sobre a necessidade de sensibilização das pessoas sobre a temática, reconhecem que é um esforço contínuo e que precisa ser lembrado e melhorado. Entretanto, deve-se fortalecer o setor de gestão ambiental, pois é o mais capacitado para direcionar para as ações mais sustentáveis.

Vale salientar que seguir as normas e leis e expandir suas ações sustentáveis, o hospital não somente colabora com menor custo para si, mas também demonstra sua responsabilidade com o meio ambiente e as pessoas.

## **8. TRABALHOS FUTUROS**

Em decorrência dos estudos abordados nesta pesquisa, verificou-se que para futuros trabalhos sejam avaliados alguns pontos, como por exemplo.

- Buscar outros modelos de equipamentos de menor porte para analisar a viabilidade econômica no cenário de duas autoclaves ou mais, porém portáteis ou semiportáteis, que possam ser adicionadas em mais pontos do hospital, assim identificando a situação que poderia ter menor custo comparado ao que foi apresentado nesse trabalho.

- Avaliação do resíduo de elevado poder calorífico dos recicláveis gerados após sua saída da autoclave e ser usado como CDR de acordo com as normativas que estabelecem o padrão ideal.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2021. 54 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 32 - Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde. Brasília, 2005b.

BRÁS, Isabel et al. Refuse Derived Fuel from Municipal Solid Waste rejected fractions- a Case Study. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 120, p.349-356, ago. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217327972>. Acesso em: 25 de setembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 8849 – **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 16.849 – **Resíduos sólidos urbanos para fins energéticos – Requisitos**. São Paulo, 2020.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 29 de março de 2018.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 33, de 25 de fevereiro de 2003**. Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF), 07 de março de 2003.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF), 10 de dezembro de 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 182 p.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 02 de setembro de 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA 05 de 05 de agosto de 1993. Define as normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 31 de agosto de 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA 264 de 26 de agosto de 1999. Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 20 de março de 2000.

BRASIL. Resolução CONAMA 283 de 12 de julho de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 01 de outubro de 2001.

BRASIL. Resolução CONAMA 316 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 20 de novembro de 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA 358 de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 04 de maio de 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA 382 de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 02 de janeiro de 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA 436 de 26 de novembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 26 de junho de 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA 499 de 06 de outubro de 2020. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília (DF), 09 de outubro de 2020.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Lei nº 16.032, de 20 de junho de 2016. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos no âmbito do Estado do Ceará**. Disponível em: <https://www2.al.ce.gov.br/legislativo/legislacao5/leis2016/16032.1.htm>. Acesso em: 08 de setembro de 2022.

CETESB. Norma Técnica P4-263. **Procedimento para utilização de resíduos fornos de produção de clínquer**. São Paulo, 2003.

CHATZIARAS, Nickolaos; PSOMOPOULOS, Constantinos S.; THEMELIS, Nickolas J.. Use of waste derived fuels in cement industry: a review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 178-193, 14 de setembro de 2016.

COSTA, Flavio. **Entendendo a TMA (Taxa Mínima de Atratividade)**, 2017.

ELEUTÉRIO, J.P.L. **Proposta de um Modelo de Negócio para a Implantação de um Sistema para Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS)**. Defesa de Mestrado (Mestre em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista, 2009.

FRÖHLICH, B. **Impactos ambientais dos resíduos sólidos dos serviços de saúde**. Universidade Federal da Fronteira Sul (Trabalho de Conclusão de Curso). Cerro Largo, 2016.

HEDGES. A.S. **EcoDebate**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2021/06/15/residuos-dos-servicos-de-saude-no-brasil-2010-2019-artigo-de-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em: 08 de setembro de 2022.

LIMA, José Donizetti de; TRENTIN, Marcelo Gonçalves; OLIVEIRA, Gilson Adamczuk; BATISTUS, Dayse Regina; SETTI, Dalmarino. **A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects**. Int. J. Engineering Management and Economics. v. 5, n. 1 p.28. February 2015.

MAIA, Igor de Paula. **Análise Econômica do Sistema de Microgeração Eólica: Estudo de Caso em uma Empresa de Limoeiro do Norte/CE**. Trabalho de Final de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, 2022.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM 154, de 25 de agosto de 2010. Dispõe sobre o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Diário do Executivo Minas Gerais (MG)**, 04 de setembro de 2010.

PAOLO, Massarini; PAOLA, Muraro. RDF: From Waste to Resource – The Italian Case. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 81, p.569-584, 2015.

PARANÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente CEMA 76, de 30 de novembro de 2009. **Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=14418>. Acesso em 31 de agosto de 2022..

PIAIA, E. **Uso de Rejeitos da Coleta Seletiva de Materiais Recicláveis para Produção de Combustível Derivado de Resíduos –CDR**. Programa de Pós-Graduação ( Curso Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

RANIERI, Ezio et al. Sampling, characterisation and processing of solid recovered fuel production from municipal solid waste: an italian plant case study. **Waste Management & Research**, [S.L.], v. 35, n. 8, p. 890-898, 13 de julho de 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Resolução CONSEMA 02 de 17 de abril de 2000. **Dispõe de norma sobre o licenciamento ambiental para coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/30095238-resolucao-002-2000-publicada.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

RODRIGUES, N. A.; PEREIRA, M.A.C. Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Cap. 9 em: ALMEIDA, M. de F. Costa (org.). **Boas práticas de laboratório**. 2ª ed. São Caetano do Sul, SP: Difusão Editora; Rio de Janeiro: Editora Senac Rio de Janeiro, 2013, p. 267-306.

SANTOS, R. R.; SCHRAMM, F.; MEDEIROS, D. D. **Qualidade no Gerenciamento das Operações de Manipulação do Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde**. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu/PR, 2007.

SÃO PAULO. Gabinete do Secretário. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). Resolução 47, de 06 de agosto de 2020. **Estabelece diretrizes e condições para o licenciamento de unidades de preparo de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos – CDR e da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de CDR.** Disponível em: [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/legislacao/leg\\_estadual/leg\\_est\\_resolucoes/Resol-SIMA-047](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resol-SIMA-047)  
[2020 Licenciamento Unidades Preparo Combustivel Derivado Residuos Solidos \(CDR\) Revoga Resol75-08.pdf](#). Acesso em: 09 de setembro de 2022.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). Resolução 38, de 31 de maio de 2017. Estabelecem diretrizes e condições para o licenciamento e a operação da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de Combustível Derivado de Resíduos Sólidos Urbanos – CDRU em Fornos de Produção de Clínquer. Disponível em: [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/legislacao/leg\\_estadual/leg\\_est\\_resolucoes/Resol-SIMA-047-2020\\_Licenciamento\\_Unidades\\_Preparo\\_Combustivel\\_Derivado\\_Residuos\\_Solidos\\_\(CDR\)\\_Revoga\\_Resol75-08.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resol-SIMA-047-2020_Licenciamento_Unidades_Preparo_Combustivel_Derivado_Residuos_Solidos_(CDR)_Revoga_Resol75-08.pdf). Acesso em 09 de setembro de 2022.

SCHNEIDER, V.E.; STEDILE, N.L.R. (org.). **Resíduos de serviços de saúde: um olhar interdisciplinar sobre o fenômeno**. 3. ed., ampl. e atual. Caxias do Sul: Educs, 2015.

SILVA, Euler dos Santos. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Produção de Cenoura (*Daucus carota subsp. Sativus*) no Município de Macaíba/RN**. Trabalho de Final de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

SOUZA, Tiago Elias de. **Autoclavagem e Incineração no Tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde: Um problema, duas alternativas**. Monografia de Especialização (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade de Taubaté, 2009.

WIESER, C.J. **Proposta de Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde dos Laboratórios da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará**. Trabalho de Final de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, 2017.