



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS-CE
ENGENHARIA CIVIL

MARCOS DENILSON BARBOSA DOS SANTOS

**CONCEPÇÃO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO INDICADOR DE
VAZAMENTOS NÃO-VISÍVEIS EM BACIAS SANITÁRIAS**

MOSSORÓ

2020

MARCOS DENILSON BARBOSA DOS SANTOS

**CONCEPÇÃO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO INDICADOR DE
VAZAMENTOS NÃO-VISÍVEIS EM BACIAS SANITÁRIAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA (Centro de Engenharias), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros.

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237c Santos, Marcos Denilson Barbosa dos.
Concepção de protótipo de baixo custo indicador
de vazamentos não-visíveis em bacias sanitárias /
Marcos Denilson Barbosa dos Santos. - 2020.
53 f. : il.

Orientador: Alisson Gadelha de Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Consumo inteligente. 2. Desperdícios. 3.
Detector. 4. Monitoramento. 5. Economia circular.
I. Medeiros, Alisson Gadelha de , orient. II.
Título.

MARCOS DENILSON BARBOSA DOS SANTOS

**CONCEPÇÃO DE PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO INDICADOR DE
VAZAMENTOS NÃO-VISÍVEIS EM BACIAS SANITÁRIAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA (Centro de Engenharias), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 11 / 12 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



Alisson Gadelha de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



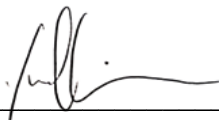
Maria Josicleide Felipe Guedes, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador



Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Solange Aparecida Goularte Dombroski, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador



Valder Adriano Gomes de Matos Rocha, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pelo seu cuidado com todos os meus passos.

Aos meus pais, Ivonete Gomes Barbosa dos Santos e Jose Nilson Fernandes dos Santos, pelo esforço que tiveram para me proporcionar uma educação de qualidade e pelo apoio em todo os âmbitos da minha vida.

A todos os meus familiares, avós, tios, primos, que me apoiaram nesse percurso de aprendizagem de alguma forma.

A minha namorada, Dalila Barbosa Fernandes, pelo companheirismo e paciência em todo o meu percurso universitário.

A meu orientador, Prof. Alisson Gadelha de Medeiros, pelo profissionalismo e dedicação para comigo na elaboração de toda a pesquisa.

A docente, Profa. Maria Josicleide Guedes, pelo apoio antes e durante o processo de construção do trabalho.

Aos meus colegas de curso, pelo companheirismo e amizade construídos durante o percurso universitário.

“Os limites só existem se você os deixar existir.”

(Akira Toriyama)

RESUMO

Entendendo a água como um elemento essencial à manutenção de toda vida no planeta, sua conservação com o intuito de garantir sua disponibilidade para futuras gerações se torna prioridade. Nesse contexto, os desperdícios advindos de vazamentos, sejam da rede de distribuição de sistemas de abastecimento de água bem como das instalações prediais, causam um grave problema à disponibilidade hídrica. Nesse sentido, esta pesquisa propôs o monitoramento dos vazamentos não visíveis em bacias sanitárias, que podem resultar em grandes volumes diários desperdiçados. A redução de tais desperdícios podem ser potencializadas através de metodologias detecção de vazamentos nos aparelhos sanitários. Para tanto, por meio da idealização teórica de um detector de baixo custo composto em sua maior parte por resíduo advindo de processos industriais cerâmicos ou de mineração e de um indicador neutro-básico contidos em uma pequena cápsula, tem-se uma possível solução. Para realização de tal protótipo foi realizada a modelagem das peças em *software* 3D, a compatibilização com bacia sanitária e seu dimensionamento, tendo como resultado um detector de baixo custo e de fácil fabricação, com ganhos ambientais tanto na reutilização de matérias quanto na prevenção das perdas de água.

Palavras-chave: Consumo inteligente. Desperdícios. Detector. Monitoramento. Economia circular. Sustentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipo de acionamento em bacias sanitárias	16
Figura 2: Dispositivos de acionamento duplo para caixa acoplada e válvula de descarga	17
Figura 3: Reparo de duplo acionamento para caixas acopladas	18
Figura 4: Teste do corante para detecção de vazamentos em bacias sanitárias.....	20
Figura 5: Teste da válvula ou caixa de descarga para detecção de vazamentos em bacias sanitárias	21
Figura 6: Teste da caneta para detecção de vazamentos em bacias sanitárias	21
Figura 7: Detector de vazamento eletrônico.....	22
Figura 8: Fluxograma de projeto	23
Figura 9: Representação modelo semianel	29
Figura 10: Representação modelo semianel invertido.....	30
Figura 11: Representação modelo pêndulo	31
Figura 12: Corte do modelo semianel	35
Figura 13: Corte do modelo semianel invertido	35
Figura 14: Corte do modelo pêndulo com QR code da movimentação dos protótipos.....	36
Figura 15: Modelo semianel.....	38
Figura 16: Modelo semianel invertido.....	39
Figura 17: Modelo pêndulo com QR code	39
Figura 18: Dimensões da bacia sanitária	40
Figura 19: Compatibilização do modelo semianel	41
Figura 20: Compatibilização do modelo semianel invertido.....	41
Figura 21: Compatibilização do modelo pêndulo.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficiente de permeabilidade	38
Tabela 2: Medidas iniciais do modelo semianel.....	39
Tabela 3: Medidas iniciais do modelo semianel invertido	39
Tabela 4: Medidas iniciais do modelo pêndulo	40
Tabela 5: Valores de vazão passante na camada-resíduo	42
Tabela 6: Dimensões dos furos.....	42
Tabela 7: Perda de Carga dos furos	43
Tabela 8: Medidas finais dos modelos	43
Tabela 9: Materiais empregados por unidade de protótipo	44
Tabela 10: Custo dos materiais por unidade de protótipo	45
Tabela 11: Tempo de resposta de cada protótipo	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
3	REVISÃO TEÓRICA.....	14
3.1	CONSUMO DE ÁGUA NOS APARELHOS SANITÁRIOS.....	14
3.2	BACIAS SANITÁRIAS.....	15
3.3	PANORAMA DE VAZAMENTOS DE ÁGUA EM BACIAS SANITÁRIAS.....	18
3.4	MEDIDAS E TECNOLOGIAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA.....	20
4	METODOLOGIA	23
4.1	IDEALIZAÇÃO DO PROTÓTIPO	24
4.2	ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NA CONFECCÃO DOS DISPOSITIVOS	24
4.2.1	Resíduo de mineração da scheelita	24
4.2.2	Resíduo da cerâmica branca	25
4.2.3	Indicador azul de bromotimol.....	26
4.2.4	Cápsula.....	27
4.3	MODELAGEM DO PROTÓTIPO 3D	28
4.3.1	Modelo semianel	29
4.3.2	Modelo semianel invertido.....	29
4.3.3	Modelo pêndulo	30
4.3.4	Furos	31
4.4	DIMENSIONAMENTO	32
4.4.1	Definição das dimensões	32
4.4.2	Tempo de resposta.....	33
4.5	NECESSIDADE DO PROTÓTIPO NO MERCADO	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	APRESENTAÇÃO DA MODELAGEM 3D, PERSPECTIVAS E CORTES	35

5.2	DIMENSIONAMENTO	37
5.3	TEMPO DE RESPOSTA	45
5.4	NECESSIDADE DO MERCADO	46
6	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A água em nosso planeta possui um volume praticamente invariável devido ao seu ciclo de renovação, a concedendo o título de recurso renovável. Entretanto, o ritmo acelerado de sua exploração, juntamente com a distribuição desproporcional no mundo, gera um sentimento de preocupação com esse recurso (AUGUSTO *et al.*, 2012).

O Brasil encontra-se em posição privilegiada no contexto mundial em relação aos recursos hídricos. Dados do Atlas Mundo, elaborado juntamente com Agência Nacional de Águas demonstram que o país detém cerca de 13% da água doce presente no planeta BRASIL (2010). No entanto, a concepção de abundância de água pode gerar um grande problema de cultura de desperdício, tanto no âmbito de usuários domésticos quanto nas grandes indústrias, causando consumo irracional dos recursos hídricos.

Apesar do Brasil possuir grandes volumes de água, a distribuição por região é desuniforme, fato esse demonstrado quando tomamos conhecimento de que a maior parte dos recursos hídricos (80%) se concentra na região Norte, na qual representa apenas 5% da população nacional BRASIL (2010). Já a região Nordeste, onde vivem cerca 30% da população brasileira, a disponibilidade hídrica de água doce é de apenas 5%, a tornando uma das mais afetadas pelas estiagens (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Diante desse cenário, fica evidente a importância da utilização de ferramentas para a manutenção e conservação das águas, se destacando nesse contexto a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. A gestão dos recursos hídricos é definida pelo IPEA (2012) como uma necessidade política, acarretada pela escassez da água e também pela necessidade da conservação deste recurso para futuras gerações. Nela se fazem presentes práticas como o uso racional da água, que segundo Santos Júnior *et al.* (2013), visa identificar a oferta da água e delimitar as principais necessidades e usos, para assegurar o volume e qualidade do recurso na volta à natureza.

Em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos, tem-se buscado ações práticas de conservação que promovem o uso sustentável da água, como a pesquisa realizada por Roedel *et al.* (2013), que utiliza sistemas integrados de informações aliado com *softwares* de monitoramento para o gerenciamento hídrico em complexo industrial. Tais ações são aplicadas em diferentes níveis de atuação, seja em escala macro - bacias hidrográficas; meso – sistemas de abastecimento e micro - sistemas prediais (OLIVEIRA, 1999).

Nesta perspectiva tem-se foco deste trabalho, através da busca de uma solução a nível micro do gerenciamento das águas, ou seja, em sistemas prediais, mais especificamente em

bacias sanitárias. Esses aparelhos representam, em média, um consumo de até 35% de água em residências, segundo Okamura (2006), podendo chegar a 47,7% do consumo em prédios públicos, de acordo com Kammers (2006). Tais valores podem alcançar níveis ainda mais elevados caso haja vazamentos nesses aparelhos, provocando grandes perdas ambientais devido aos desperdícios de água, assim como perdas financeiros.

Desta forma, o presente trabalho apresentará tecnologia capaz de detectar vazamentos em bacias sanitárias com o intuito de minimizar os desperdícios de água por meio do monitoramento, resultando em melhorias sociais expressivas, visto que a oferta de água está ligada diretamente à qualidade de vida e à saúde de uma população.

Tal dispositivo engloba diretamente a ação (ii) referente a água e esgoto do Plano de Gestão de Logística Sustentável – PLS (UFERSA, 2019), que relata a priorização da compra e utilização de equipamentos hidráulico que promovam o uso eficiente e redução do consumo e desperdício de água nas edificações da Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), local de produção desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

- **GERAL**

Conceber formas de viabilizar a concepção de um protótipo de baixo custo para detecção de vazamentos não visíveis em bacias sanitárias.

- **ESPECÍFICOS**

- ✓ Modelar os parâmetros dimensionais e de funcionamento para produção do conceito do protótipo;
- ✓ Contribuir para o monitoramento dos desperdícios de águas causados por vazamentos não visíveis em bacias sanitárias;
- ✓ Fomentar o mercado de inovações tecnológicas e cerâmico com solução econômica e sustentável.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 CONSUMO DE ÁGUA NOS APARELHOS SANITÁRIOS

Segundo a NBR 15097 aparelhos sanitários são, ABNT (2011, p.2): “[..] aparelho ligado à instalação predial de esgoto sanitário e destinado ao uso de água para fins higiênicos ou a receber dejetos humanos [...]”. Partindo deste princípio, inúmeros equipamentos surgiram ao longo do tempo para atender as necessidades humanas de higiene pessoal, como torneiras, chuveiros, mictórios e bacias sanitárias.

De acordo com Barros (2013), nos últimos anos, as tecnologias em aparelhos sanitários têm evoluído na busca por menores consumos de água, muito disto se dá pela questão ambiental que as indústrias vêm adotando, pois, produtos com apelo ecológico tem ganhado cada vez mais espaço no mercado devido a conscientização da poluição quantos aos desperdícios e também por novas legislações e certificações ambientais. Inúmeros trabalhos foram produzidos com base no consumo dos aparelhos citados, em locais com grande movimentação de pessoas e em residências familiares, para demonstrar o quão importante é o avanço de tecnologias para redução do consumo de água.

Pesquisas como as realizadas por Soares (2012) demonstraram que 63% do consumo total de água da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG se destinava a bacias sanitárias, 26% a torneiras, 3% para mictórios, chuveiros e outros equipamentos resultaram em 8%. Valores diferentes foram obtidos por Araújo (2018) na universidade Federal da Paraíba, onde 39,52% do consumo total é referente a torneiras, 27,07% a bacias sanitárias, 4,42% para mictórios, chuveiros e outros equipamentos representavam 28,99%.

Já em edificações unifamiliares o consumo por aparelho se torna ainda mais diferenciado, como demonstrou Barreto (2008) em sua pesquisa, onde o chuveiro representou o maior consumo em percentual total, com 55%, seguido por torneiras de uso geral com 29% e bacias sanitárias com apenas 5% da representação total. Nestes cenários de consumos torna-se importante a compreensão das tecnologias mais empregadas nos aparelhos sanitários para a diminuição do consumo.

Nas torneiras que consistem em dispositivos de controle do fluxo de água ocorreram grandes evoluções em suas tecnologias quanto a seu controle. Os modelos convencionais não possuíam controle quanto seu fechamento, dependendo assim dos usuários para controlar seu tempo de uso. Desta forma surgiram no mercado novas tecnologias para minimizar o consumo de água independente da ação de usuário, tais como o fechamento hidromecânico e por sensor

de presença, além de dispositivos para acoplamento, como aeradores e pulverizadores, que diminuem a vazão das torneiras (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Os chuveiros também possuem um controle de fluxo definido pelo usuário e se torna uma complicação quanto os desperdícios, pois a sensibilidade do usuário está diretamente ligada ao volume de água que o chuveiro proporciona (PNCDA, 2003). Desta maneira Sautchúk (2004) recomenda a utilização de restritor de vazão e válvulas de fechamento automático no intuito de diminuir o consumo de água sem a necessidade da interferência do utilizador, tendo o cuidado de não ultrapassar o mínimo exigido pelas normas de dimensionamento quanto vazão para o bom funcionamento do aparelho.

Com relação aos mictórios, tem-se um dos aparelhos que mais consomem água nas edificações, devido a soluções inadequadas para seus dispositivos de acionamento (KAMMERS, 2006). Segundo Gonçalves e Oliveira (1998), a redução do consumo de tais dispositivos se dá pela utilização de válvulas hidromecânicas para fechamento automático como as das torneiras. Também pode-se utilizar fechamento automático por sensor de presença, que detecta ausência do usuário e libera a vazão de água para a limpeza do aparelho.

Já as bacias sanitárias são definidas pela a NBR 8160 como, ABNT (1999, p.2): “[..] aparelho sanitário destinado a receber exclusivamente dejetos humanos [...]”. Ao receberem dejetos humanos, os mesmos são descartados no esgotamento sanitário por meio de sistema hidráulico. Como o trabalho em questão busca soluções para o monitoramento dos desperdícios desses aparelhos, o tópico seguinte apresentará detalhadamente suas especificidades e dispositivos poupadores de água.

3.2 BACIAS SANITÁRIAS

Como visto anteriormente, bacias sanitárias em edificações com grande movimentação representam percentual elevado do consumo de água total, sendo em alguns casos a primeira ou segunda posição no geral, e muito disso se dá pelos equipamentos mais antigos, que não possuíam as tecnologias hoje empregadas. Segundo SSWM (2020), modelos antiquados possuíam consumo entorno de 13 a 26 L por acionamento, prejudicando desta forma a conservação da água ao longo do tempo.

Com as novas tecnologias, os novos equipamentos para liberação da vazão de água já são fabricados com volume médio por acionamento de 6 L, reduzindo de forma significativa o consumo de água nos aparelhos sanitários (CELITE, 2020). Tais medidas de redução foram preconizadas por normas brasileiras, como por exemplo NBR 15941 (ABNT, 2019), que definiu

o consumo das bacias sanitárias não ultrapassasse 6 L por acionamentos, tendo desta forma um ganho ambiental significativo nos novos aparelhos fabricados a partir deste período.

Tais medidas para redução do consumo das bacias continuam a serem estudadas, como é o caso da pesquisa feita por Valencio e Gonçalves (2018), que busca a redução do volume de água utilizado nas bacias sanitárias para 4,8 L por acionamento. Os autores citados anteriormente também realizaram testes em laboratório com tal volume em 20 aparelhos sanitários, obtendo resultados promissores quanto a remoção de dejetos e estando de acordo com o desempenho prescrito em norma. Contudo, 65% não tiveram resultados satisfatórios quanto ao transporte dos sedimentos pela rede predial de esgoto, necessitando desta forma de ajustes no produto.

No que se refere as características das bacias sanitárias presentes no mercado existem diferentes tipos quanto a seu acionamento, podendo ser por válvula de descarga, caixa de descarga e caixa de descarga acoplada (Figura 1).

Figura 1: Tipo de acionamento em bacias sanitárias



Fonte: Astra (2020a); Astra (2020b); Deca (2020a).

As caixas de descarga elevada consistem em sistema de liberação de água com volume regulável de 6,8 a 9 L. As mesmas permitem a regulação no interior da caixa, controlando seu acionamento por corda do lado externo, podendo ser interrompido pelo usuário quando desejar (ASTRA, 2020a). Tais elementos já vêm perdendo espaço para as caixas acopladas devido a sua estética e o menor consumo.

Em relação as válvulas de descarga, as mais antigas possuíam grande consumo de água, e o modelo de parede, por exemplo, possui uma média de 18 L por cada acionamento. Os produtos atuais, que já possuem um volume de 6 L de descarga. Contudo os valores apresentados dependem do tempo que o usuário mantém a válvula pressionada, e por isso a

utilização de válvulas com fechamento automático se torna cada vez mais presente no mercado (CELITE, 2020).

O dispositivo caixa de descarga acoplada é semelhante ao da caixa elevada, tendo sua diferenciação quanto a posição de acoplamento a bacia sanitária e o acionamento é realizado por botão, ao invés de cordão. Um dispositivo bastante utilizado neste elemento é o mecanismo de duplo acionamento (*dual-flush*), que possibilita a liberação de duas vazões distintas, a primeira contendo 6 L para a evacuação de dejetos sólidos, e a segunda de 3 L para limpeza de dejetos líquidos (PNCDA, 2003). Esse dispositivo pode ser utilizado em válvulas de descarga, proporcionando ao usuário a escolha de qual vazão atende suas necessidades (Figura 2).

Figura 2: Dispositivos de acionamento duplo para caixa acoplada e válvula de descarga

Acionamento duplo em caixa acoplada



Acionamento duplo em válvula de descarga



Fonte: Hydra (2020); Docol (2020).

Outro ponto importante sobre o *dual-flush* é que o equipamento pode ser instalado em caixas acopladas que não possuem o dispositivo, apenas substituindo o dispositivo de acionamento único por reparos de duplo acionamento (Figura 3).

Figura 3: Reparo de duplo acionamento para caixas acopladas



Fonte: Deca (2020b).

Quanto aos reparos, outro ponto a ser comentando é em relação aos vazamentos causados pelos mesmos em bacias sanitárias, podendo os mesmos serem visíveis ou não visíveis. No entanto outros fatores podem causar vazamentos nestes elementos e necessitam de uma abordagem minuciosa.

3.3 PANORAMA DE VAZAMENTOS DE ÁGUA EM BACIAS SANITÁRIAS

Segundo Gonçalves *et al.* (1999) os vazamentos são definidos como perdas de água que ocorre nos sistemas hidráulicos das edificações. Tal anomalia podem representar valores significativos no volume total consumido da edificação, como apresentado no estudo de DeOreo *et al.* (2016) onde, na avaliação de 1000 residências, concluiu-se que as perdas de água representavam em média 12% do consumo total das mesmas.

Tais desperdícios muitas vezes ocorrem pelos maus hábitos dos usuários. Isso se torna mais comum em edificações públicas, como é relatado por Kalbusch *et al.* (2018). Esses autores revelaram que os índices de desperdício de água em edificações públicas são superiores ao das edificações privadas, devido à falta de manutenção dos equipamentos hidrossanitários.

No que se refere aos vazamentos, há dois grupos que se distinguem: os vazamentos visíveis e os não visíveis. Os vazamentos visíveis se manifestam de forma direta por meio de

escoamento ou gotejamento, sendo deste modo, de fácil detecção, como em tubulações e acessórios. Já os não visíveis ocorrem de forma indireta, em instalações onde o acesso à vistoria é de difícil acesso, como no alimentador predial e tubulações enterradas ou também pela não percepção do vazamento por parte do usuário devido a não haver escoamento perceptível ou gotejamentos (NUNES, 2000).

Metodologias foram criadas para localizar vazamentos tanto em sistemas prediais quanto em sistema de abastecimento, sendo do tipo visível ou não-visível como os testes idealizados por Gonçalves e Oliveira (1998), dentre eles estão o teste do hidrômetro, teste de sucção, teste do reservatório e os específicos para vazamentos não visíveis como o geofonia eletrônica, haste de escuta e a correlação de ruídos. Com o tempo os testes apresentaram evolução em suas metodologias, como no caso dos testes para vazamento não visíveis que utilizam detecção por sons e ruídos. Na pesquisa realizada por Arnesen *et al.* (2016) foi desenvolvida uma metodologia de análise digital para reconhecer padrões acústicos decorrentes de vazamentos em sistemas de abastecimento, facilitando desta forma o trabalho dos técnicos que realizam as atividades de campo e análises.

Os dois tipos de vazamentos ocorrem também nas bacias sanitárias. Os vazamentos visíveis se manifestam frequentemente em filetes de água ou no tubo de alimentação da louça, podendo chegar a desperdícios na ordem de 144 *L/dia*. No caso dos vazamentos não-visíveis, sua manifestação principal se dá pelo disparo da válvula da bacia sanitária quando acionado, causando perdas de 40,8 *L/dia* (GONÇALVES *et al.*, 2005). O trabalho realizado por Kalbusch *et al.* (2018) em dez edifícios trouxe a análise dos aparelhos sanitários presentes nas edificações. A pesquisa revelou que 63,5% das bacias analisadas possuíam vazamento não-visível, nas formas filetes, e em 7,1% das válvulas de descarga, quando acionadas, apresentavam vazamento.

Trabalho realizado por Oliveira (2002) demonstrou que bacias sanitárias com caixas de descarga apresentavam um maior índice de vazamentos em relação às equipadas com válvulas de descarga, sendo que nas caixas de descarga o índice médio de vazamentos foi de 30,7% e as válvulas de descarga foi de 10,9%. Como contribuição, o autor indica que fabricantes de peças para bacias sanitárias garantam no mínimo dez anos de uso.

Para detecção de vazamentos nas bacias sanitárias existem diferentes metodologias e tecnologias específicas, como o teste da caneta, teste de válvula, teste do corante, entre outros que terão abordagem mais específica.

3.4 MEDIDAS E TECNOLOGIAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA

A detecção de vazamentos em bacias sanitárias é uma importante ferramenta para o monitoramento dos desperdícios de água, visto que em muitos casos os usuários não percebem tais problemas. Desta maneira existe a necessidade de se conhecer e aplicar metodologias para indicação de vazamentos, principalmente os não visíveis.

O teste do corante trata-se de uma das metodologias para detecção de vazamentos, que se utiliza de café, groselha ou outra substância que possa ser dissolvida em água e promova a mudança de coloração da mesma. Desta forma, o procedimento consiste na remoção da água após a adição da substância que mudará a coloração do líquido dentro do aparelho, passando-se um intervalo de tempo de 30 min, outra parcela de água é retirada. Ao fim é feita a comparação entre as duas amostras (Figura 4) e, caso haja diferença na tonalidade, se verifica a presença de vazamentos (NUNES, 2000).

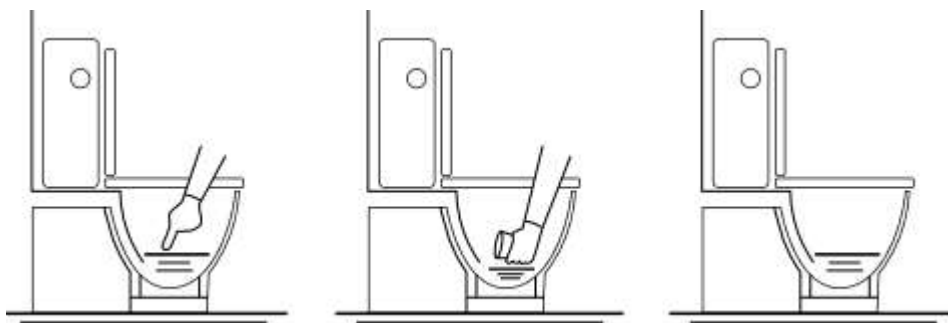
Figura 4: Teste do corante para detecção de vazamentos em bacias sanitárias



Fonte: Fujimoto, Nunes e Ilha (2002).

Outro teste para indicação de vazamentos é o da válvula ou caixa de descarga, que consiste na marcação do nível de água do poço do aparelho e logo depois a retirada de três a quatro copos de água e fazer uma segunda marcação do novo nível (Figura 5). Após passado uma hora é observado se o nível de água ultrapassou o nível mínimo ou se igualou ao nível inicial. Nesses dois casos há indicação de vazamentos (SABESP, 2018).

Figura 5: Teste da válvula ou caixa de descarga para detecção de vazamentos em bacias sanitárias



Fonte: SABESP (2018).

Um terceiro método para avaliação de vazamentos em bacias sanitárias é o teste da caneta (Figura 6). Nesta metodologia, após a secagem das paredes internas do aparelho, é marcada uma linha com caneta de tinta solúvel, cerca de 3 cm abaixo da borda do equipamento, englobando toda a sua circunferência, caso ocorra o desaparecimento de algum trecho do desenho realizado a indicação de vazamento (NUNES, 2000).

Figura 6: Teste da caneta para detecção de vazamentos em bacias sanitárias



Fonte: Kalbusch *et al.* (2018).

Medidas tecnológicas também vêm sendo desenvolvendo, como o detector de vazamento eletrônico (Figura 7), que indica se a bacia sanitária está com problemas quanto à fuga de água por meio de boia eletrônica dentro das caixas de descarga. À medida que é

acionada a válvula para a evacuação dos dejetos, o aparelho acende indicação verde, indicando que há normalidade na ação. Já quando o nível apresenta queda sem o acionamento da caixa de descarga, uma luz vermelha acende, indicando o problema (AMAZON, 2020).

Figura 7: Detector de vazamento eletrônico

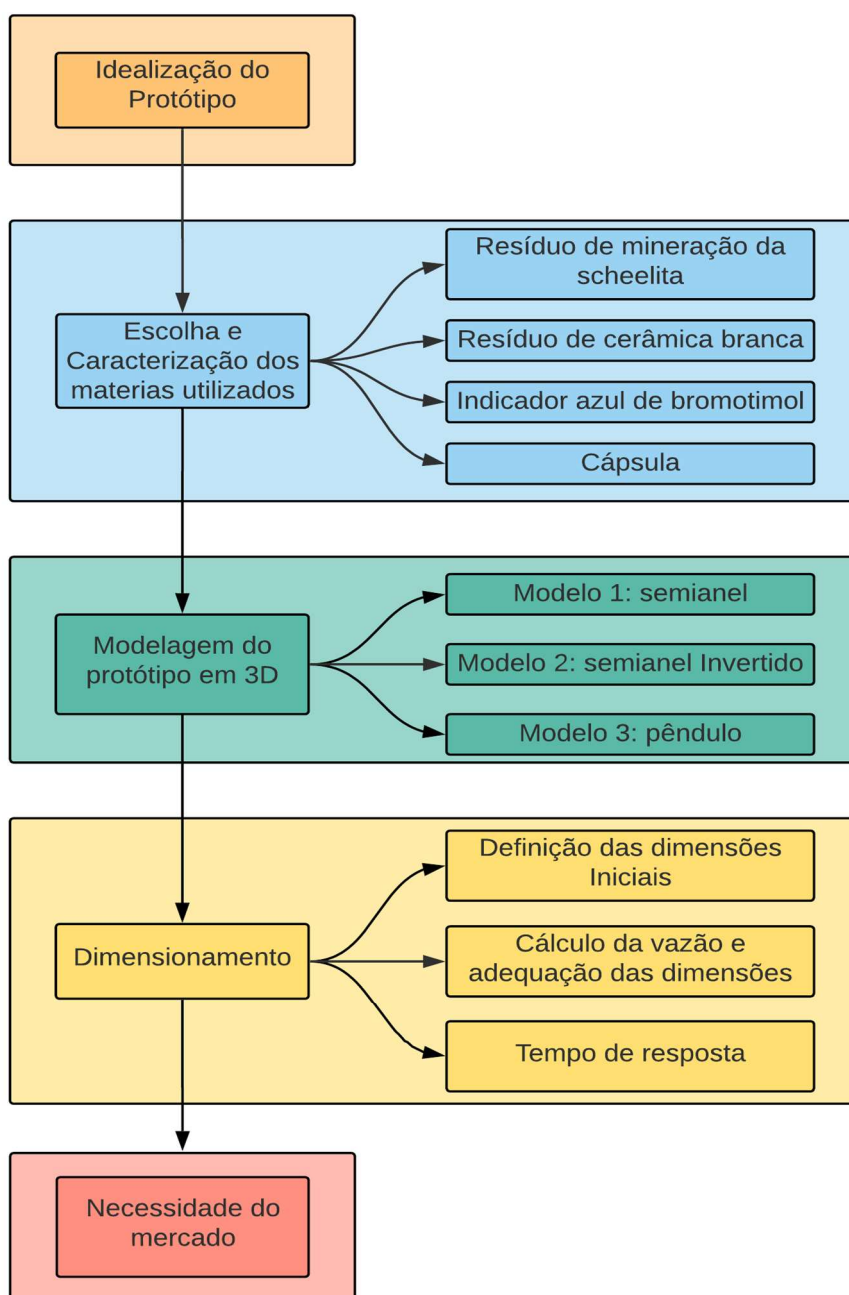


Fonte: Amazon (2020).

4 METODOLOGIA

Esta seção realiza uma descrição das etapas relacionadas às concepções, ferramentas e materiais utilizados na idealização do protótipo. A Figura 8 apresenta um fluxograma das etapas realizadas para validação do protótipo.

Figura 8: Fluxograma de projeto



Fonte: Autoria própria (2020).

4.1 IDEALIZAÇÃO DO PROTÓTIPO

Como citado, os vazamentos são um grande problema para o meio ambiente, devido aos desperdícios consideráveis de água que podem proporcionar, principalmente em bacias sanitárias com vazamentos não visíveis.

Neste sentido, foi idealizada uma possível solução a fim de minimizar tal problema, por meio de detecção simples e de baixo custo, com modelos capazes de detectar vazamentos não visíveis de maneira rápida e fácil. Com isso, foi elaborada a ideia da concepção de um protótipo de detecção de vazamentos constituído na maior parte por materiais de baixo custo e sustentáveis, que possam indicar de forma visível no poço de bacias sanitárias a presença de vazamentos sem ações de intervenção daqueles que as utilizam.

4.2 ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NA CONFECÇÃO DOS DISPOSITIVOS

A escolha dos materiais empregados nesse projeto baseou-se principalmente no contexto ambiental, buscando insumos que seriam descartados e aparentemente sem muitas perspectivas de utilização no ciclo produtivo, como os resíduos da scheelita e da cerâmica branca. Além disso, associados ao critério do baixo custo, na constituição de protótipos distintos. Outros materiais sugeridos são o azul de bromotimol, que também possui baixo custo de produção laboratorial, e o filme polimérico sustentável, o qual possui viés ambiental.

4.2.1 Resíduo de mineração da scheelita

A scheelita é um mineral pertencente a classe dos tungstatos, caracterizada por brilho vítreo adamantino; com colorações branca, amarela, verde ou castanha; clivagem imperfeita; dureza intermediária e alta densidade (FERNANDES, 2011). A China se destaca no cenário mundial como a maior produtora de tungstatos, representando cerca de 83% da produção mundial, além de possuir grandes reservas que giram em torno de 56% da total existente no planeta (USGS, 2018). Já no que se refere ao Brasil, Medeiros *et al.* (2019) revelam que tal mineral se concentra na região Nordeste, especificamente no Rio Grande do Norte, na região do Seridó, com 70% da produção total.

Para Gerarb (2014) o processo de beneficiamento do mineral citado tem grande improdutividade em relação a matéria-prima final. Cerca de 99,2% do material extraído e

tratado da scheelita são desperdiçados, sendo apenas 0,8% do total aproveitado. Trabalho realizado por Liu *et al.* (2011) também confirmam os altos níveis de resíduos gerados com o processo de produção do tungstênio, sendo que para cada 1 *ton* de minério são produzidas 9 *ton* de rejeito.

Estimativas realizadas por Gerarb (2014) na mina Brejuí, localizada no estado do Rio Grande do Norte, revelam que o acúmulo de resíduos do beneficiamento, chega à montantes de 4,5 milhões de toneladas do resíduo grosso e 2,5 milhões de toneladas do resíduo fino, um dos motivos pelos quais tal material foi escolhido para ser uma das alternativas na idealização do protótipo.

Uma característica utilizada para a idealização e dimensionamento do projeto é a granulometria do resíduo. Para tanto, adotou-se a curva granulométrica utilizada por Medeiros (2019) com material proveniente de mineração da Mina de Brejuí, referente ao resíduo grosso. De modo que, a porcentagem de resíduo passante acumulada em 10% ou D_{10} apresentou granulometria de 0,3 mm, em 50% ou D_{50} a granulometria foi de 0,4 mm, já em 90% ou D_{90} o resultado da granulometria foi de 1 mm.

4.2.2 Resíduo da cerâmica branca

Segundo Silva *et al.* (2017), o material cerâmico é um composto a base de matéria-prima inorgânica, com elementos metálicos e não metálicos, naturais ou sintéticos, que por meio de calor adquirem forma e aplicações no cotidiano. Os resíduos provenientes de tal processo, também conhecidos como resíduos de cerâmica branca, são resultados de dois processos distintos classificados em dois grupos, conforme menciona Andreola *et al.* (2010). O primeiro grupo é composto por resíduos resultantes de processo de pré-cozimento, conhecido como “GR”. Já o segundo é produto do polimento dos revestimentos e da quebra de peças, denominado de “PR”. Segundo Matos *et al.* (2018), o Brasil é o segundo maior produtor de revestimentos cerâmicos no âmbito mundial, com cerca de $899 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{ano}$, gerando desta forma 60000 *t* de resíduos PR.

Segundo Galvão (2018), alguns destes resíduos estão classificados como resíduo sólido não inerte, desta forma é necessário um tratamento especial para tal, conforme NBR 10004 (ABNT, 2004) para resguardar a saúde humana e o meio ambiente.

Desta forma o resíduo de cerâmica branca terá um enfoque especial na elaboração do projeto, visto a importância da sua reutilização, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde da população. Além do mais, o resíduo em si já está disponível para os fabricantes de peças

sanitárias, ou seja, as próprias fabricas que produzem o resíduo poderiam reutilizá-lo no protótipo barateando ainda mais seu custo no processo produtivo, numa perspectiva sustentável de economia circular e viabilidade de negócio.

Segundo Breitenbach (2013), no processo de polimento das peças de cerâmicas, o resíduo gerado se encontra na forma de lodo que, ao ser seco, gera pequenas pedras solidificadas. Witt *et al.* (2018) também relatam sobre os resíduos da produção da cerâmica branca, mas com origem na quebra de peças pós processo de cozimento. Ambos revelam que para o aproveitamento deste material são necessários a moagem e o peneiramento de tal, a fim de gerar um tipo de pó com coloração branca, que possua a granulometria adequada a cada aplicação. Para esta pesquisa, adotou-se a mesma granulometria D_{10} da scheelita de 0,3 mm apresentada por Medeiros (2019), como forma de padronizar os protótipos em uma tentativa de viabilizar seu processo produtivo.

4.2.3 Indicador azul de bromotimol

O azul de bromotimol consiste em uma substância indicadora para determinação de ácidos e bases, tendo diversas aplicações como a determinação de pH em sistema de tratamento de água (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Sua coloração tem mudanças quando a substância entra em contato com meios básico ou ácidos. Em meios com pH abaixo de 6, ácidos, ocorre a mudança de coloração para amarela; no intervalo de 6 a 7,6 o reagente tem a tonalidade verde indicando meio neutro; já acima de 7,6 a coloração se torna azul, indicado meio básico (SABNIS, 2007).

Como o objetivo do trabalho é indicar possíveis vazamentos em bacias sanitárias, o azul de bromotimol torna-se um indicador oportuno, visto que a substância causadora da mudança de coloração é a água potável, que possui pH na rede de distribuição de 6 a 9 (BRASIL, 2017b). Outra possibilidade para indicador com igual efeito do azul de bromotimol seria o vermelho de fenol, que teria mudança de coloração em contato com a água, não sendo utilizado devido a sua faixa de reação quanto ao pH se iniciar em 6,8, acima da faixa que a água tratada se encontra na rede de abastecimento (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Para que ocorra a reação esperada, de mudança da coloração, recomenda-se ser adotada a metodologia proposta por Morita e Assumpção (2007), na qual para cada 0,1 g de Azul de bromotimol é necessário a mistura de 20 mL de álcool e 100 mL de água. Com a incapacidade de se armazenar líquidos no protótipo, decidiu-se por saturar a camada de resíduo com a quantidade indicada de álcool, e a água necessária para a solução indicada será aquela

proveniente de um eventual vazamento, tendo a função de misturar tais componentes para que ocorra a reação. É importante destacar a necessidade de testes com o álcool devido a sua volatilidade, que pode ocasionar problemas ao sistema de reação do bromotimol no protótipo.

Desta maneira, a água decorrente do vazamento escoará pela parede interna da bacia sanitária e se infiltrará na camada resíduos até chegar no indicador, onde mudará sua tonalidade para azul ou verde e continuará seu escoamento carregando pequenas partículas do azul de bromotimol reativas até chegar no poço da bacia sanitária. Com isso, ocasionando a mudança de coloração da água ali presente, indicado dessa forma ao usuário que existe vazamento, sendo necessário a correção de problemas nos componentes do sistema da caixa de descarga.

NOTA 1: Azul de bromotimol poderia ser classificado como uma substância ou resíduo não perigoso considerando que, não consta nos Anexos C, D e E da NBR 10004/2004 relacionados às substâncias com periculosidade aos resíduos, substâncias agudamente tóxicas e substâncias tóxicas, respectivamente (ABNT, 2004).

NOTA 2: Adverte-se que embora o indicador, azul de bromotimol, tenha a possibilidade de detectar vazamentos não visíveis no conceito deste protótipo, é necessário ser destinado à uma estação de tratamento de esgoto para remoção específica de seu poluente após descarte. Pois, seu conteúdo pode resultar efeitos prejudiciais ao ambiente, quando descartado e manuseado de maneira inadequada; bem como é importante o controle, a disposição e a proteção individual daqueles que utilizam.

Sua composição química não é considerada uma substância ou mistura perigosa de acordo com a união europeia (MERCK, 2018). Desta maneira, as recomendações referentes à Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) devem ser rigorosamente avaliadas em sua viabilidade técnico-ambiental através de testes relacionados, ou seja, entende-se que é importante uma avaliação mais detalhada sobre os riscos envolvidos com a utilização da substância.

4.2.4 Cápsula

Para conter os materiais utilizados no detector, é necessário um envoltório que seja permeável para a passagem de água e que não permita o escape do material granular, bem como suporte para todo um componente com resistência mecânica a movimentações, formando desta maneira uma cápsula protetora.

Uma das alternativas encontradas para o envoltório se refere aos biopolímeros. Diferente dos polímeros convencionais, a base do petróleo, os biopolímeros possuem em sua constituição matérias primas como as algas e plantas, sendo uma possível solução a utilização de nanofibras flexíveis de celulose, que possuem resistência a água e permeabilidade para a passagem da mesma (HUANG *et al.*, 2016).

Outra opção seria utilização de nanofibras eletrofiadas desenvolvidas por Bortolassi (2019) na Universidade Federal de São Carlos, que possuem basicamente as mesmas características da desenvolvida por Huang *et al.* (2016), mas que utilizam de petróleo na sua constituição.

Em relação ao suporte que resistirá aos esforços mecânicos e dará sustentação ao material, a alternativa adotada de material foi o bioplástico, devido ao baixo impacto ao meio ambiente e por sua leveza, evitando desta forma problemas com os suportes do protótipo (AMORIM, 2019).

4.3 MODELAGEM DO PROTÓTIPO 3D

Para concepção do projeto, foram idealizados três modelos de detectores para a instalação em bacias sanitárias com saída única de água a partir da caixa de descarga. Para tanto, possuindo os formatos de semianel, semianel invertido e de pêndulo. Em primeiro momento, foi realizada a modelagem 3D com o intuito de analisar a viabilidade construtiva e movimentação das peças, além de se detalhar o envoltório de contenção dos materiais e o suporte mecânico. Todo esse procedimento foi realizado no *software Fusion360*, que possui versão gratuita estudantil, sendo o resultado final demonstrado nas discussões de sua viabilidade neste trabalho.

A também a necessidade de análise na modelagem 3D quanto a disposição de furos na parte superior da camada de resíduo nos três modelos, de modo a permitir a passagem da água de maneira direcionada em um escoamento vertical em direção ao indicado utilizado. Tais furos são essenciais para uniformização da entrada de água proveniente de vazamento dentro do protótipo.

Uma segunda consideração a se enfatizar quanto a análise deste protótipo é o nicho de bacias sanitárias a que o mesmo é compatível, sendo apenas possível sua instalação em peças com saída única e central de água que advém da caixa de descarga.

4.3.1 Modelo semianel

O modelo em formato de semianel possui duas partes móveis com formato “U”, que se movimentam quando a válvula de descarga é acionada e um fio que interliga a válvula ao protótipo se contrai. As partes móveis apresentam duas camadas, a primeira de resíduo da scheelita ou da cerâmica branca e a segunda do indicador azul de bromotimol, que se localizam da parte superior a inferior respectivamente.

Para manter todo material unido e compactado foi utilizado envoltório de biopolímeros que permitem a passagem de água, além utiliza de bioplástico para resistir aos esforços mecânicos e dar forma ao protótipo, e proporcionar o acúmulo de água acima da camada de resíduo.

Para aderência das duas partes do semianel na bacia sanitária existem dois fixadores articulados nas extremidades que permitem a movimentação dos dispositivos em 130° graus se encaixando perfeitamente no formato da bacia. Caso a movimentação fosse em 180°, ocasionaria o não encaixe com o formato da bacia sanitária.

A Figura 9 apresentam o modelo semianel antes e ao fim da movimentação provocada pelo acionamento da descarga, que contrai o cordão acionador deslocado desta forma a peça. Observa-se que ao fim da movimentação o protótipo apresenta uma envergadura maior do que a apresentado em seu estado inicial.

Figura 9: Representação modelo semianel



Fonte: Autoria própria (2020).

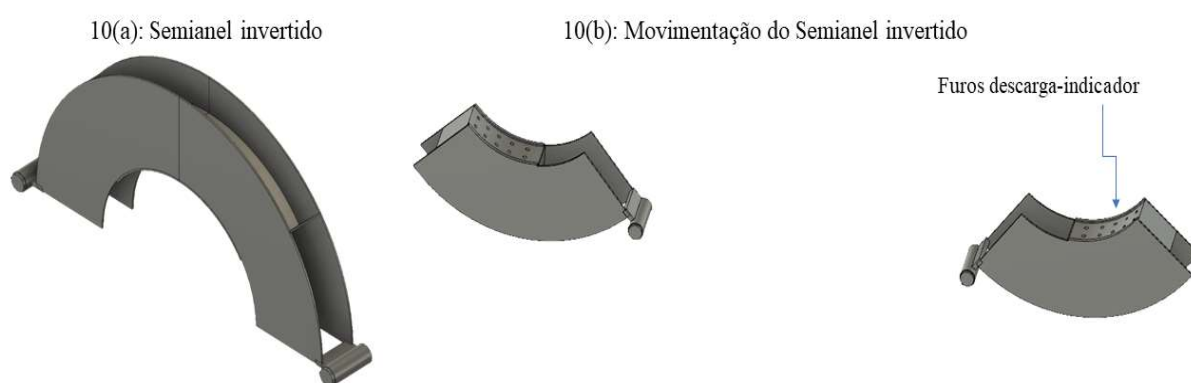
4.3.2 Modelo semianel invertido

O formato semianel invertido possui as mesmas características, peças e camadas do semianel, diferenciando-se apenas na disposição das mesmas na bacia sanitária. Juntas as duas

partes móveis apresentam formato de “arco” ao invés de “U”, que também se movimentam em 130° com o acionamento da válvula de descarga. Nesse modelo também ocorreria o não encaixe com o formato da bacia sanitária caso a movimentação fosse de 180°.

A Figura 10 apresentam o modelo semianel invertido antes e ao fim da movimentação, provocada pela utilização da descarga como no modelo seminal, causando a tenção no cordão de acionamento. Observa-se que ao fim da movimentação esse protótipo também apresenta uma envergadura maior do que a apresentado em seu estado inicial.

Figura 10: Representação modelo semianel invertido



Fonte: Autoria própria (2020).

4.3.3 Modelo pêndulo

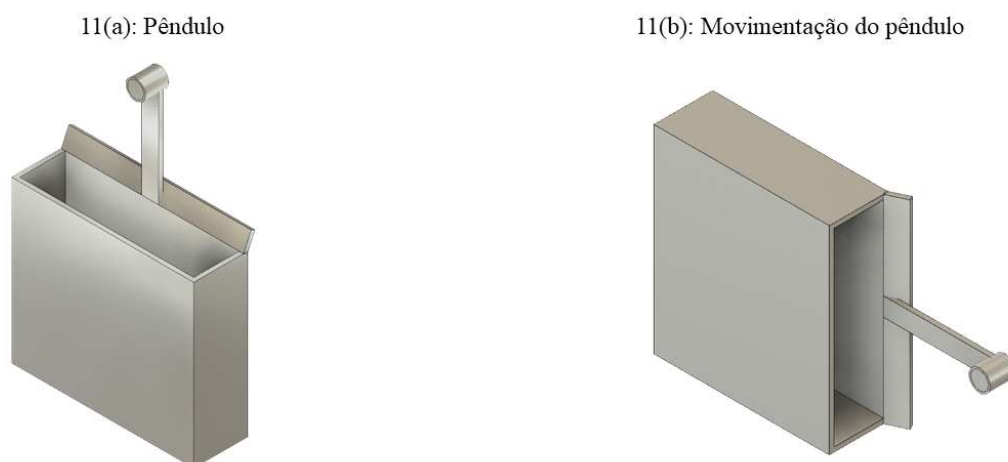
O modelo em formato de pêndulo possui uma parte móvel ligada a um fixador articulado por meio de haste, que se movimentam quando a válvula de descarga é acionada e um fio que interliga a válvula à haste se contrai. A parte móvel é constituída por duas camadas, a primeira de resíduo da scheelita ou da cerâmica branca e a segunda do indicador azul de bromotimol.

Para manter todo material unido é utilizado envoltório de biopolímeros e bioplástico para resistir aos esforços mecânicos e dar forma ao protótipo, além de proporcionar o acúmulo de água acima da camada de resíduo.

Para aderência do pêndulo na bacia sanitária existe um fixador articulado na posição central, que permite a movimentação do objeto em 90°, se encaixando perfeitamente no formato das bacias.

Na Figura 11, está representado o modelo pêndulo antes e ao fim da movimentação, provocada pelo acionamento da descarga. Como nos outros dois protótipos, este também tem sua movimentação proporcionada pela existência do cordão de acionamento.

Figura 11: Representação modelo pêndulo



Fonte: Autoria própria (2020).

4.3.4 Furos

Para o bom funcionamento das três propostas de protótipo, devem-se considerar os furos para a passagem de água na parte superior, visando a uniformização no escoamento vertical por toda a área transversal da peça, bem como na parte inferior para saída do líquido com mudança de coloração. Dessa maneira, propôs-se três opções possíveis para que os furos na parte superior e inferior sejam executados nas peças, a serem testadas.

A primeira concepção do furo seria atravessando o envoltório e aprofundando-se cerca de 0,5 a 1 mm na camada de resíduo. A segunda opção seria a passagem do furo apenas pelo envoltório, sem introdução na camada-resíduo. Já a terceira alternativa seria a execução da perfuração de 0,5 a 1 mm apenas no resíduo sem a passagem pelo envoltório.

Em relação aos furos descarga-indicador na parte inferior, indica-se que possuam a dimensão cerca de 30 a 50% do diâmetro dos sólidos que compõem o indicador, desta forma evita-se que o azul de bromotimol venha a escapar completamente nos primeiros volumes passantes por ele.

Tais propostas foram idealizadas com o intuito de prevenir um eventual escape de material pelos furos, visto que a análise deste quesito, apenas por meio de ambiente virtual, torna-se impraticável, sendo necessário realizações de testes de validação e desempenho das peças idealizadas.

4.4 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento do protótipo foram utilizados como base os conceitos de permeabilidade referentes ao fluxo de água, pois os resíduos utilizados possuem características granulométricas que podem permitir tal aproximação dos cálculos.

4.4.1 Definição das dimensões

As dimensões dos modelos inicialmente foram definidas com base na modelagem das peças e compatibilização com as dimensões reais das bacias sanitárias. A partir deles, foi possível a aplicação de fórmulas capazes de determinar a vazão passante pela camada de resíduo. Com isso, adequar as medidas iniciais para um determinado fluxo compatível estimado/aproximado de valores Gonçalves *et al.* (2005), a fim de se obter um tempo de resposta controlado e um volume de água adequado para a ativação do indicador azul de bromotimol, como margem de segurança de seu funcionamento.

Com os valores iniciais definidos pela modelagem, foi proposta a adequação das dimensões de área e comprimento com base na lei de Darcy, que segundo Pinto (2011) relaciona diversos fatores geométricos e o coeficiente de permeabilidade Equação 1.

$$Q = k \frac{h}{L} A \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Q – vazão (m^3/s);
 k – coeficiente de permeabilidade;
 h – carga hidráulica (m);
 L – espessura da camada (m);
 A – área do permeâmetro (m^2).

Em relação ao coeficiente de permeabilidade, Pinto (2011) descreve a Equação (2) desenvolvida por Hazen, a qual relaciona o coeficiente em questão com diâmetro efetivo do material, que por definição é a granulometria D_{10} . Com isso, tanto o resíduo de mineração da scheelita quanto a cerâmica branca terão k diferentes estimados.

$$k = 100. D_{10}^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

k – coeficiente de permeabilidade (cm/s);

D_{10} – porcentagem de resíduo passante acumulada em 10% (cm).

Quanto à carga hidráulica “ h ” considerada neste trabalho, consiste na altura da lâmina de água decorrente do vazamento que se deposita sobre o protótipo. Um fator que tende a modificar o valor de “ h ”, são os furos presentes acima do envoltório, conforme mencionado na modelagem 3D, que tem a função direcionar o fluxo de água proveniente do vazamento para dentro da camada de resíduo. Em contrapartida, tais orifícios provocam uma perda de carga, que necessita ser somada ao valor final da carga hidráulica. Dessa forma, foram utilizados conceitos de hidráulica básica para aproximar a metodologia de furos em tubulações apresentados por Porto (2006) para o cálculo da perda de carga por orifício conforme a Equação (3).

$$Q = C_d \cdot A \sqrt{2gH} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

Q – vazão (m^3/s);

C_d – coeficiente de vazão = 0,6;

A – seção do orifício (m^2);

g – aceleração da gravidade (m^2/s);

H – perda de carga (m).

Com os valores calculados na Equação (1) e (2) é possível chegar a um valor da vazão “ Q ”, que será utilizada na Equação (3) para a determinação da perda de carga, sendo possível soma a mesmo com o valor de carga hidráulica. É justificável o ajuste das dimensões iniciais para satisfazer as condições propostas de vazão.

4.4.2 Tempo de resposta

Para que o indicador situado nos três modelos de projeto tenha eficiência, é necessário que a água escoada devido ao vazamento entre em contato com o sistema idealizado. Para isso, é necessário que o líquido atravessasse através da percolação a camada do resíduo-camada até o indicador, pois o resíduo-camada terá a finalidade de proporcionar as condições necessárias

para se calcular o desperdício de água até a indicação do vazamento, além de proporcionar uma margem de segurança para não indicar um resultado falso positivo, através de possível contato com a água da caixa de descarga, que não seja relacionado a um vazamento não visível.

Neste sentido, foi definido que o tempo em que a primeira gota de água atinge a superfície do resíduo até chegar no indicador será calculado através de equações que correlacionam o material empregado e as dimensões da camada.

Para os cálculos foi considerada a vazão estipulada por Gonçalves *et al.* (2005) de $4,72 \times 10^{-4} \text{ L/s}$, no que se refere ao acúmulo de água em cada protótipo diante de um vazamento não visível e a vazão calculada por Darcy referente ao escoamento pelas camadas das peças. Vale destacar que existem diferentes vazões para vazamentos em bacias sanitárias como a obtida por Grisham e Fleming (1989) de 45 L/h .

4.5 NECESSIDADE DO PROTÓTIPO NO MERCADO

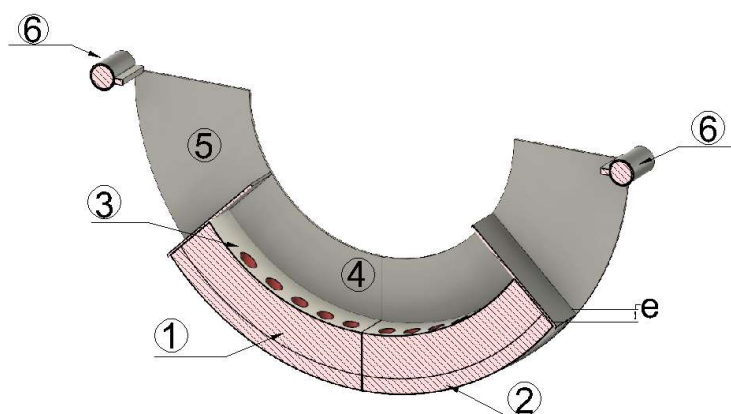
Com toda a modelagem e dimensões do protótipo finalizadas, foram realizadas comparações com as tecnologias de detecção já existentes do mercado e citados no trabalho, evidenciando as vantagens e desvantagens do protótipo idealizado em relação a essas, de modo a apresentar as necessidades presentes no mercado em relação a detecção de vazamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 APRESENTAÇÃO DA MODELAGEM 3D, PERSPECTIVAS E CORTES

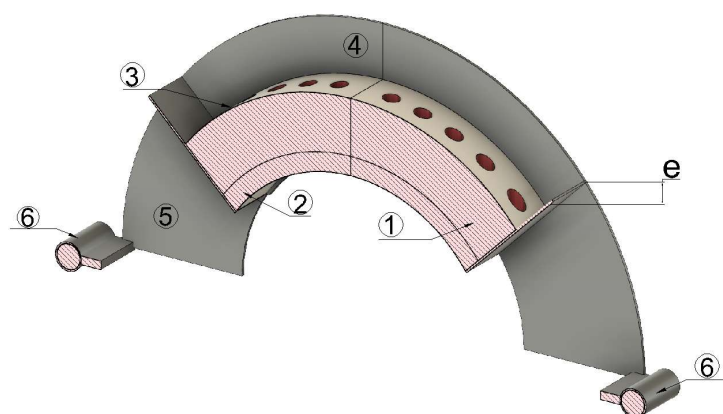
A modelagem 3D é uma forma eficaz de análise do espaço e funcionamento de objetos que ainda estão na fase de implementação, possibilitando visualizar com clareza a distribuição das peças. Nas Figuras de 12 a 14 são apresentados os cortes 3D, elaborados com o intuito de detalhar cada peça dos protótipos, informar e descrever as funções de seus componentes. Os pontos de 1 a 8 representados nas figuras 12 a 14, estão em seguida e enquadram todos os modelos.

Figura 12: Corte do modelo semianel



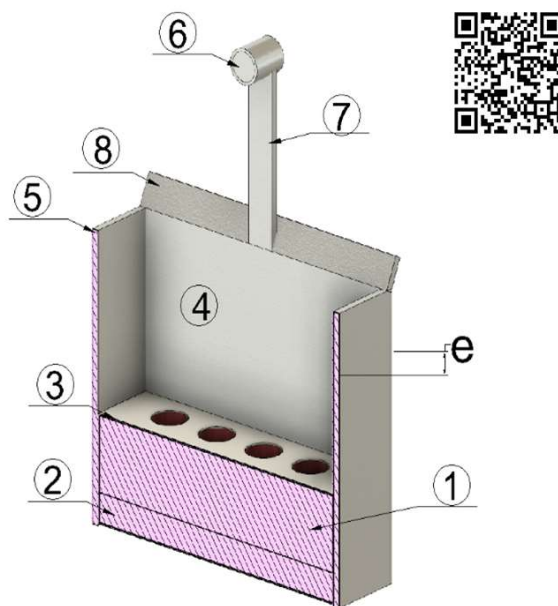
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 13: Corte do modelo semianel invertido



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 14: Corte do modelo pêndulo com *QR code* da movimentação dos protótipos



Fonte: Autoria própria (2020).

1. Camada de resíduo de scheelita ou cerâmica branca: necessária para proteger o indicador de qualquer água residual decorrente do acionamento da descarga em um resultado falso positivo de vazamento não visível, e promover a estimativa do tempo de resposta do indicador através do cálculo da vazão passante na camada-resíduo.
2. Camada de indicador: responsável pela mudança de coloração da água proveniente de vazamento na válvula de descarga. A água decorrente deste problema escoar pela parede da bacia até o resíduo e, através da percolação, atinge-se azul de bromotimol.
3. Envoltório: fina camada de 0,1 mm que envolve todas as camadas da peça, tanto nas partes superiores e inferiores quanto nas laterais, composta de biopolímeros ou nanofibras permeáveis, capaz de manter o material das camadas de resíduo e indicador unidas e compactados, podendo ser trocado após sua utilização como um refil. Em detalhe nas Figuras 12 a 14, pode-se observar os furos propostos para passagem de água na parte superior e nas Figuras 9 e 10 tem-se a visualização dos furos na parte inferior.
4. Câmara de acumulação: para que a água decorrente do vazamento venha a percolar nas camadas do protótipo, é necessário ser determinada a carga hidráulica. Nesse sentido, foi pensado em um pequeno reservatório capaz de formar a lâmina de água necessária para promover vazão dentro do dispositivo, sendo a altura deste reservatório utilizado nos cálculos de vazão. Em toda a extensão do reservatório de

acumulação, no caso dos modelos de semianel e semianel invertido, a água terá a mesma altura ou valor próximo ao estipulado nos cálculos.

5. Suporte: peça capaz de resistir aos esforços mecânicos de sustentação do protótipo na movimentação, composto por bioplástico com espessura de 1 mm.
6. Fixadores articulados: Permitem a movimentação das partes móveis, tendo em todos os modelos o diâmetro de 5 mm. Os modelos de semianel e semianel invertido estão interligados diretamente com o suporte, girando em torno dos articuladores no ângulo 130°, já no modelo pêndulo a ligação não é direta do suporte e sim por intermédio de uma haste.
7. Haste: Interliga o suporte da peça como um todo com o fixador articulado no modelo pêndulo, fazendo com que a peça, girando em torno dos articuladores no ângulo 90°.
8. Captação: Componente interligado ao corpo principal da peça, com inclinação de 15° em direção a parede da bacia sanitária, com finalidade de captação da água proveniente do vazamento na válvula de descarga, que escoar pela face da bacia sanitária, pois no modelo pêndulo existe um afastamento da peça em relação a parede da bacia.

Com relação a cota “e” especificada no desenho, a mesma representa a espessura das camadas de resíduo e indicador no sentido horizontal dos modelos.

Outro ponto a salientar é a ausência da representação de um último componente devido às limitações do *software* utilizado na modelagem, trata-se do cordão de acionamento que terá ligação entre o protótipo e a válvula da caixa de descarga, realizando a movimentação da peça quando utiliza-se a descarga.

Como exemplificação da movimentação da peça dentro da bacia sanitária, a Figura 14 apresenta um *QR code* linkado a um vídeo apresentação do *YouTube* demonstrando tal funcionamento.

5.2 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento, de cada modelo de protótipo utilizou-se apenas um cálculo representando o resíduo da scheelita e da cerâmica branca. Isso se deve as considerações propostas na metodologia, que possibilitaram a mesma granulometria nos dois resíduos, por consequência, o igual valor do coeficiente de permeabilidade “*k*”.

O cálculo de “ k ” se dá pela (Equação 2) utilizando os valores de D_{10} , obtendo-se os seguintes resultados.

Tabela 1: Coeficiente de permeabilidade

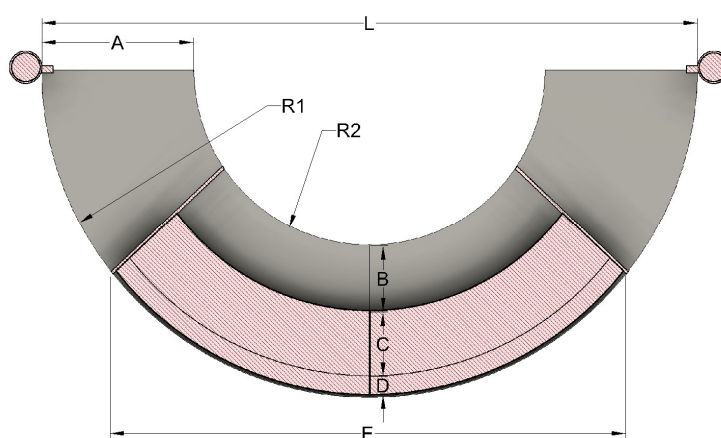
Resíduos	$K (m/s) (x 10^{-4})$
Scheelita	9,0
Cerâmica Branca	9,0

Fonte: Autoria própria (2020).

A metodologia desenvolvida por Hazen e descrita por Pinto (2011) foi validada através da pesquisa realizada por Sousa *et al.* (2019), onde realizaram-se comparações entre os métodos empíricos e os laboratoriais. Como conclusões, os autores apontaram a não discrepância entre os valores comparados e exemplificaram que, o método de Hazen (teórico) se trata da metodologia mais adequada para o cálculo de permeabilidade em areias. Tal fato indica confiabilidade aos valores obtidos na Tabela 1, uma vez que os resíduos estudados apresentam granulometria próxima da areia, que varia de 0,05 a 2 mm (ALMEIDA, 2012).

Com os valores calculados do coeficiente de permeabilidade, é necessária a definição inicial das dimensões dos três modelos de protótipos para o cálculo da vazão passante na camada-resíduo. Tais medidas estão exemplificadas nas Figuras 15 a 17 com seus respectivos valores dispostos nas Tabelas 2 a 4.

Figura 15: Modelo semianel



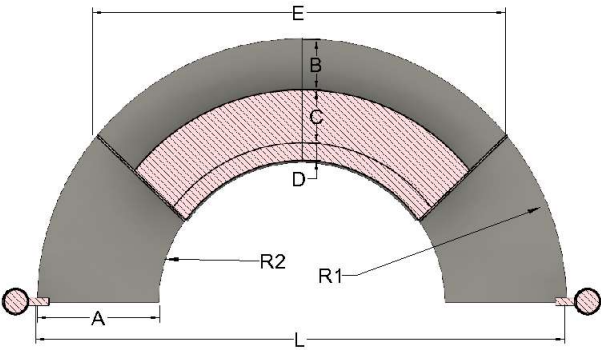
Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 2: Medidas iniciais do modelo semianel

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	L (mm)
10,5	5,5	4,0	1,0	40,0	25,5	15,0	50,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 16: Modelo semianel invertido



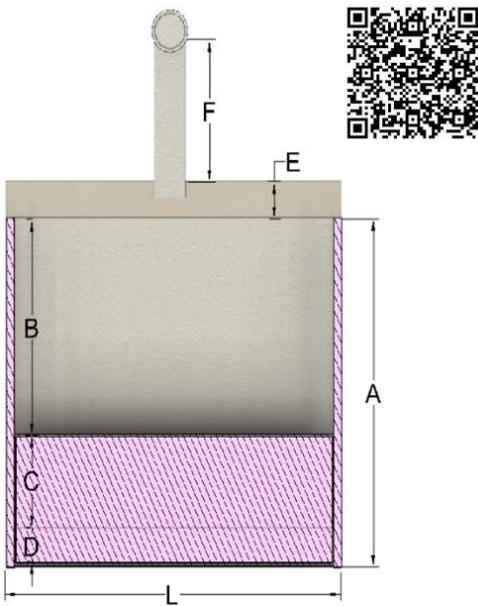
Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 3: Medidas iniciais do modelo semianel invertido

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	L (mm)
10,5	5,5	4,0	1,0	40,0	25,5	15,0	50,0

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 17: Modelo pêndulo com QR code



Fonte: Autoria própria (2020).

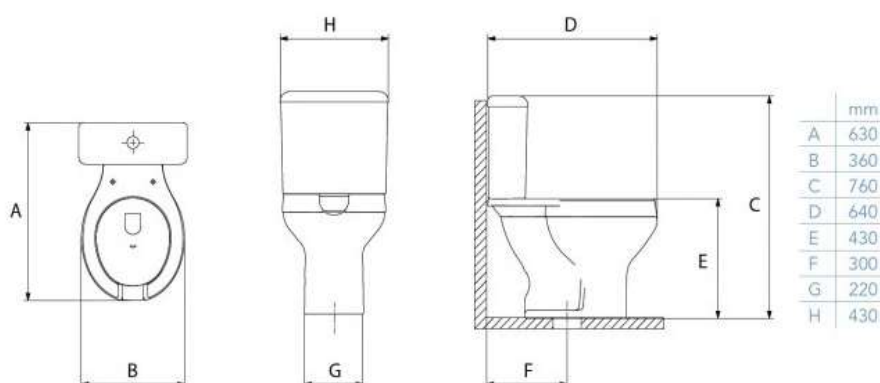
Tabela 4: Medidas iniciais do modelo pêndulo

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	L (mm)
13,0	9,0	3,0	1,0	3,0	10,0	20,0

Fonte: Autoria própria (2020).

A espessura das camadas de resíduo e indicador foram representadas nas Figuras 12 a 14 pela cota “e” na direção horizontal, sendo todas as medidas dos modelos quanto a esse parâmetro de 10 mm. Tal valor foi definido devido ao pequeno espaço onde a peça desenvolvida se encaixariam na bacia sanitária quando houver a liberação de água, tais dimensões estão exemplificadas na Figura 18.

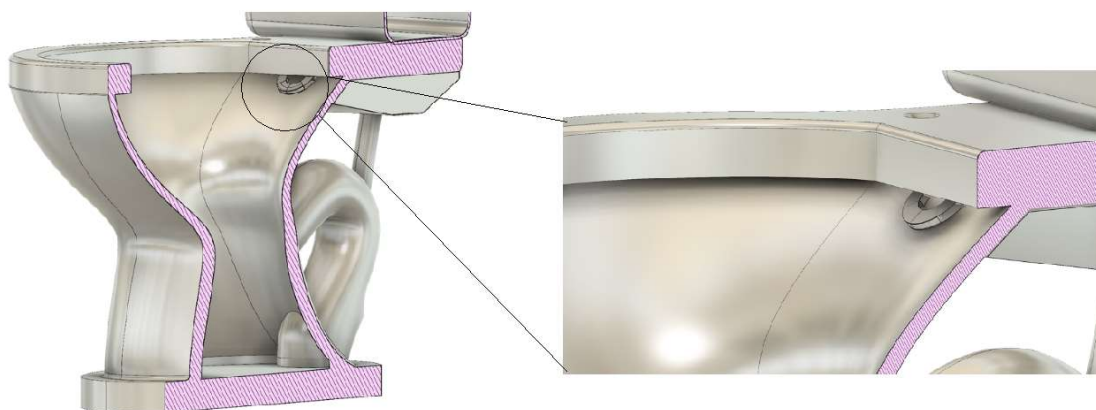
Figura 18: Dimensões da bacia sanitária



Fonte: Solucenter (2020).

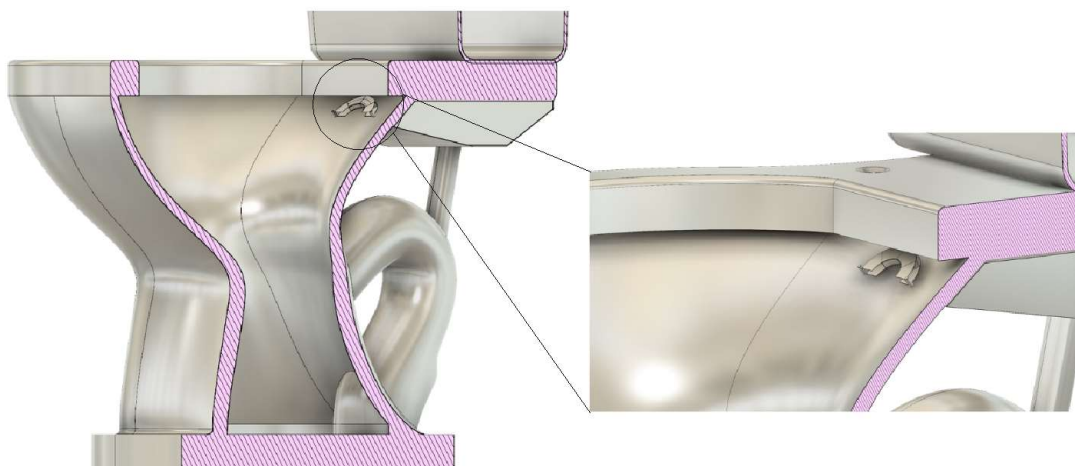
Os valores iniciais apresentados nas Tabelas 2 a 4 foram estipulados por meio de compatibilização das medidas dos protótipos com as medidas reais de bacias sanitárias. Na biblioteca do *software Fusion360* foi encontrado modelo de bacia sanitária com as mesmas dimensões indicadas por Solucenter (2020). Desta forma, foram realizadas análises de distâncias, dimensões e posicionamento dos modelos em relação as medidas reais das bacias sanitárias, buscando a maior proximidade possível com a borda do aparelho, evitando desta forma sujeiras e dejetos. Nas Figuras 19 a 21 estão apresentadas a compatibilização realizada virtualmente.

Figura 19: Compatibilização do modelo semianel



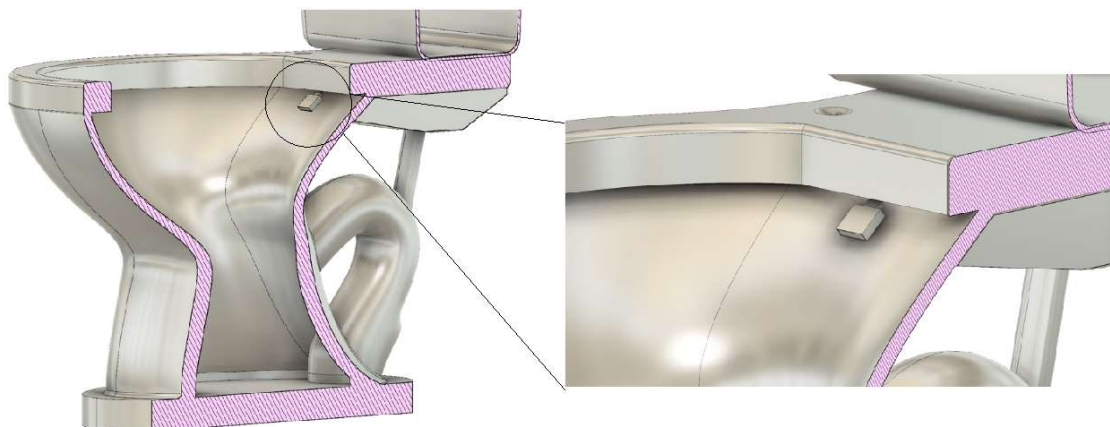
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 20: Compatibilização do modelo semianel invertido



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 21: Compatibilização do modelo pêndulo



Fonte: Autoria própria (2020).

Com as medidas iniciais obtidas por meio de modelagens foi possível calcular a vazão passante na camada-resíduo através da (Equação 1). Os resultados juntamente com os dados de entrada estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de vazão passante na camada-resíduo

Modelo	$K^1(m/s)$ ($\times 10^{-4}$)	$C(m)$ ($\times 10^{-3}$)	Área² (m^2) ($\times 10^{-4}$)	$B(m)$ ($\times 10^{-3}$)	$Q(m^3/s)$ ($\times 10^{-7}$)	$Q(L/h)$
Semianel	9,0	4,0	3,68	5,5	4,56	1,64
Semianel invertido	9,0	4,0	3,64	5,5	4,50	1,62
Pêndulo	9,0	3,0	1,65	9,0	4,46	1,61

¹Os valores do coeficiente de escoamento apresentam valor igual devido a consideração proposta na metodologia onde se adotou o mesmo valor de granulometria D_{10} para scheelita e cerâmica branca. ²A área considerada nos cálculos é referente a área transversal da camada-resíduo.

Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores apresentados de vazão na Tabela 5 correspondem a valores muito próximos ao apresentado por Gonçalves *et al.* (2005) de 40,8 L/dia ou 1,7 L/h. Com isso, pode-se estipular que toda a vazão acumulada nos protótipos possivelmente apresentará escoamento dentro da camada resíduo na mesma taxa do vazamento.

Há também necessidade de se considerar nos cálculos a perda de carga ocasionada pelos furos realizados na parte superior, como proposto na metodologia. Na Tabela 6 é apresentada a quantidade de furos em cada modelo e suas respectivas dimensões.

Tabela 6: Dimensões dos furos

Modelo	Nº de furos	Diâmetro (mm)	Área¹ (m^2) ($\times 10^{-5}$)	Espaçamento (mm)
Semianel	8	4,0	1,25	1,0
Semianel invertido	8	4,0	1,25	1,0
Pêndulo	4	3,0	7,06	2,0

¹A área considerada nos cálculos é referente a cada furo.

Fonte: Autoria própria (2020).

Com os valores acima e a vazão calculada na Tabela 5 pode-se aplicar (Equação 3) com o intuito de averiguar as perdas de carga provocadas pelos furos. Vale ressaltar que não foram obtidas estimativas da perda de carga devido ao envoltório, por isso optou-se em acrescentar um incremento proveniente da perda de carga do mesmo, de modo a compensá-las. Na Tabela

7 são apresentados os valores de perda de carga dos furos e o incremento proveniente do envoltório que, por praticidade, apresentam valores para que o resultado final seja múltiplo de cinco.

Tabela 7: Perda de carga dos furos

Modelo	$H_0(mm)^1$	$H_1(mm)^2$	$H_T(mm)^3$
Semianel	1,50	8,00	9,5
Semianel invertido	1,45	8,05	9,5
Pêndulo	2,25	7,75	10,0

¹Perda de carga total dos furos. ²Perda de carga devido ao envoltório. ³Perda de carga total.
Fonte: Autoria própria (2020).

Com tais valores da perda de carga, é imprescindível a alteração das dimensões do protótipo a fim de se manter a mesma vazão. Optou-se por modificar a dimensão “*B*” que altera diretamente a carga hidráulica de cada peça, somando tal medida com a perda de carga calculada em cada protótipo, além de acrescentar um incremento no valor final com o intuito de compensar a perda de carga do envoltório. Essa alteração também ocasionou a modificações de outras dimensões apresentadas na Tabela 8. É interessante mencionar que tais valores podem ser ajustados mediante detalhes construtivos e teste de funcionamento realizados nos modelos do protótipo proposto.

Tabela 8: Medidas finais dos modelos

Modelo	A (mm)	B (mm) ¹	C (mm)	D (mm)	E (mm)	R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	F (mm)	L (mm)
Semianel	20,0	15,0	4,0	1,0	39,0	25,5	5,5	N/D	50,0
Semianel invertido	20,0	15,0	4,0	1,0	39,0	25,5	5,5	N/D	50,0
Pêndulo	23,0	19,0	3,0	1,0	3,0	N/D	N/D	10,0	20,0

¹Valor inicial “*B*” somada a perda de carga total H_T .

Nota: N/D representa a não existência de valores.

Fonte: Autoria própria (2020).

As pequenas dimensões obtidas dos modelos foram necessárias devido as condições de funcionamento das peças, sendo imprescindível o distanciamento das mesmas em relação a água do poço da bacia sanitária, evitando desta forma dejetos que prejudicariam seu bom funcionamento. Além de que, nos modelos semianel e semianel invertido ocorre o aumento da

envergadura dos mesmos ao serem movimentados com o acionamento da válvula de descarga, passando de 50 mm para 100 mm na dimensão L, podendo ocasionar incompatibilidades com as bacias sanitárias caso tivessem maior dimensão.

Com os valores finais pode-se fazer estimativa quanto ao gasto de materiais em cada protótipo. Na Tabela 9 estão apresentados o consumo dos resíduos, envoltório e suporte.

Tabela 9: Materiais empregados por unidade de protótipo

Modelo	Resíduo (mm^3)	Indicador (g) ¹	Álcool (ml)	Envoltório (mm^2)	Suporte (g) ²
Semianel	1,47	0,163	32,6	8,36	60,0
Semianel invertido	1,45	0,16	32,0	8,18	60,0
Pêndulo	0,49	0,10	20,0	2,97	45,0

¹Valor calculado com densidade de $450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (MERCK, 2020). ²Valor calculado com densidade de $1,15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ referente ao PET (RICCHINI, 2020).

Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores calculados para o indicador, que no presente estudo é o azul de bromotimol, indicam que, possivelmente, o material é mais do que suficiente para ativação do processo, o qual necessita de teste após a produção do protótipo. Com a solução demonstrada em Morita e Assumpção (2007), determinou-se que para cada 0,1 gramas do indicador em questão é possível promover a mudança de coloração em 8 L de água, volume superior a vazão prevista no projeto que varia entre 1,61 e 1,64 (L/h) relacionada ao tempo necessário para detecção. No entanto, optou-se por permanecer com tal massa devido a dimensões existentes na peça, visto que a camada de azul de bromotimol possuem apenas 1 mm de extensão, bem como para que a solução escoada até o poço da bacia tenha concentração elevada de bromotimol, de modo a ocorrer alteração na coloração da água ali presente.

Todo o processo descrito no parágrafo anterior necessita de testes empíricos para sua validação, visto que a concentração da solução proposta tem suas aplicações realizadas em laboratórios com parâmetros controlados, diferentemente da aplicação para qual foi utilizada neste trabalho.

Quanto ao custo do material, foram estimados alguns preços de mercado dos materiais componentes dos protótipos com exceção dos resíduos e do envoltório. Na Tabela 10 estão apresentados tais valores.

Tabela 10: Custo dos materiais por unidade de protótipo

Modelo	Resíduo (R\$)	Indicador (R\$) ¹	Álcool (R\$) ²	Envoltório (R\$)	Suporte (R\$) ³
Semianel	N/D	0,38	0,54	N/D	0,16
Semianel invertido	N/D	0,38	0,53	N/D	0,16
Pêndulo	N/D	0,31	0,33	N/D	0,12

¹Valor calculado com preço de R\$ 77,23 para cada 25g (META,2020). ²Custo calculado com valor estimado de R\$ 16,66 a cada 1 L (DIDÁTICA, 2020). ³Valor calculado com preço de R\$ 2,60 para cada 1 kg referente ao PET (RESO, 2020).

Nota: N/D representa a não existência de valores conhecidos ou possíveis de cálculo.

Fonte: Autoria própria (2020).

Uma alternativa para se diminuir o custo do suporte seria a fabricação do envoltório em peças de cerâmica como as das bacias sanitárias, mas a partir dos resíduos gerados da produção, visto que tais indústrias possivelmente seriam as mais interessadas na produção de tais protótipos.

5.3 TEMPO DE RESPOSTA

O tempo de resposta refere-se à quantidade de minutos ou segundos com que o volume acumulado no protótipo leva até chegar na camada de azul de bromotimol, provocando as primeiras mudanças de coloração da água, a partir do início do tempo de acumulação, levando em consideração as dimensões dos modelos e a Equação (3) proposta na metodologia. Na Tabela 11 é demonstrado esse tempo em relação a vazão de cada modelo e seu volume acumulado.

Tabela 11: Tempo de resposta de cada protótipo

Modelo	Q (L/s) ($\times 10^{-4}$)	V ¹ (L) ($\times 10^{-3}$)	Tempo de acumulação ² (s)	Tempo de resposta ³ (s)
Semianel	4,56	5,52	11,70	23,80
Semianel invertido	4,50	5,46	11,60	23,75
Pêndulo	4,46	2,95	6,30	12,90

¹Volume de acumulação de cada protótipo. ²Tempo necessário para promover todo volume de acumulação.

³Tempo necessário para acumulação e escoamento da água pela camada resíduo até o indicador.

Fonte: Autoria própria (2020).

Como visto nos resultados a água demora entre 12,90 a 23,80 s para acumular e percorrer as camadas do protótipo até chegar no indicador azul de bromotimol onde ocorrerá a

mudança na coloração da água. Tal reação não possui um tempo pré-determinado, necessitando de testes futuros para validação do tempo total no processo de indicação dos vazamentos. Outro fator que interfere no tempo total é vazão proveniente do vazamento, que possivelmente difere da estipulada por Gonçalves *et al.* (2005).

5.4 NECESSIDADE DO MERCADO

Os modelos de protótipos desenvolvidos neste trabalho buscam suprir demandas existentes no mercado atual, no que diz respeito a detecção de vazamentos em bacias sanitárias. Os testes mencionados no item 3.4 como o da válvula, corante e da caneta, necessitam de conhecimentos prévios da metodologia do ensaio para um resultado confiável, diferente da tecnologia proposta desenvolvida nesta pesquisa, que não necessita de preparações ou metodologias para seu uso, sendo necessário apenas sua fixação na bacia sanitária.

Já em comparativo feito com detector eletrônico, Amazon (2020), o protótipo desenvolvido apresenta vantagem por não necessitar de energia para seu funcionamento e não possuir componentes elétricos que poderiam apresentar defeitos, fator que caracteriza economia financeira. Uma observação a se comentar é forma de indicação de vazamento. No detector elétrico, luzes indicam a ocorrência de vazamentos, sendo localizadas ao lado da caixa de descarga, podendo dificultar na visualização do usuário (requerendo maior atenção). Já o detector desenvolvido neste trabalho proporciona indicação diretamente no poço da bacia sanitária, tornando mais clara a visualização do usuário.

6 CONCLUSÕES

Com base na modelagem, dimensionamentos e demais idealizações dos modelos de protótipos propostos neste trabalho pode-se indicar possíveis constatações que:

1. Com as análises de modelagem e o dimensionamento pode-se inferir que os protótipos possuem compatibilidade adequada com as bacias sanitárias de saída única e podem ter sua fabricação feita por meio de impressora 3D, visto que sua criação foi realizada em *software* compatível com tal tecnologia.
2. É necessário construir o protótipo e realizar testes quanto ao seu funcionamento idealizado, uma vez que as dimensões projetadas para produção de baixo custo, devem ser compatíveis com àquelas padronizadas referentes às bacias sanitárias disponíveis no mercado. Pois, de fato, as dimensões dos componentes dos protótipos são pequenas mediante esta limitação, e podem necessitar de ajustes práticos.
3. É fundamental que sejam validadas medidas de segurança quanto o possível o uso/descarte do azul de bromotimol, bem como no atendimento das legislações de saúde e ambientais vigentes. Também existe a possibilidade da utilização de outros indicadores ácido-base, reagentes ou corantes/traçadores, por exemplo, o Dye Tracers utilizado na indicação de fluxos de águas.
4. Os modelos apresentam uma nova possibilidade de monitoramento em relação aos desperdícios de água em bacias sanitárias, mediante o uso de resíduos que permitem flexibilidade e compatibilidade granulométrica com o tempo de resposta na perspectiva da segurança dos resultados. Outrossim, o uso de um indicador com faixa de pH associada à água potável do sistema predial de distribuição de água fria.
5. As considerações de dimensionamento indicam possível eficiência no processo de detecção de vazamentos não visíveis em bacias sanitárias, mediante o uso de resíduos que permitem flexibilidade e compatibilidade granulométrica com o tempo de reposta na perspectiva da segurança dos resultados, bem como do indicador com faixa de pH associada à água potável do sistema predial de distribuição de água fria.
6. A estimativa inicial de custo revela que cada protótipo teria baixo custo, em torno de R\$ 0,76 a R\$ 1,08, diante das considerações propostas nas concepções do protótipo. Em especial, o resíduo da cerâmica branca que possui sua produção provenientes de indústrias de bacias sanitárias, que representam possíveis fabricantes dos protótipos e uma possibilidade na produção da própria cápsula.

7. A metodologia utilizada neste trabalho permite a possibilidade de ser reproduzida em uma produção de maior escala dos protótipos, por meio das indústrias de aparelhos hidrossanitários, com vislumbre de parcerias de Instituições de Ensino Superior (IFES), para aprimoramento e certificação de sua tecnologia.
8. Sua idealização prevê a utilização de materiais que podem contribuir com ganhos ambientais em perspectiva de economia circular e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15097**: Aparelhos sanitários de material cerâmico – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15941**: Caixa acoplada para limpeza de bacias de louças sanitária – Requisitos e métodos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ALMEIDA, B. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro, EMBRAPA SOLOS, 2012. 11p. (EMBRAPA SOLOS. Comunicado Técnico, 66).
- AMAZON. Detector de vazamento de vaso sanitário LeaKAlertor 6000. 2020. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Detector-vazamento-vaso-sanit%C3%A1rio-LeakAlertor/dp/B01N3ARQOL>>. Acesso em: 15 out. 2020.
- AMORIM, D. P. L. Bioplástico: Benefícios sustentáveis e ascensão da produção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 98-112. 2019.
- ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; BIGNOZZI, M. C.; LANCELLOTTI, I.; ANDROLINI, F. New blended cement from polishing and glazing ceramic sludge, **Int. J. Appl. Ceram. Technol.** v. 7, n. 4, p. 546-555. 2010.
- ARAÚJO, R. T. de. **Diretrizes para elaboração de plano de uso racional da água em instituições de ensino superior**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- ARNESEN, A. S.; PADOVESE, L. R.; MIKI, M. K.; CARVALHO, M. A. S. Sistema digital de pesquisa de vazamentos de água: desenvolvimento de plataforma, gravações e análises de sinais. **Revista DAE**, São Paulo, v. 64, n. 201, p. 33-44. 2016.
- ASTRA. Caixa de descarga elevada. 2020a. Disponível em: <http://www.astra-sa.com.br/pt/produto.asp?id_produtoWebVarejo=951>. Acesso em: 16 out. 2020.
- ASTRA. Válvula de descarga. 2020b. Disponível em: <http://www.astra-sa.com.br/pt/produto.asp?id_produtoWebVarejo=973>. Acesso em: 16 out. 2020.
- AUGUSTO, L. G. S.; GURGEL, I. G. D.; NETO, H. F. C.; MELO, C. H.; COSTA, A. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 1511-1522. 2012.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**. Porto Alegre 2008, v. 8, n. 2, p. 23-40. 2008.

BARROS, M. D. B. **Avaliação de Mecanismos Poupadores de Água como Suporte ao Planejamento Urbano em Campina Grande - PB**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

BRASIL (2010). ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS; Engecorps; Cobrape. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília, 2010.

BRASIL (2017b): Portaria de consolidação N° 5, de 28 de Setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do sistema único de saúde. Brasília, 2017.

BREITENBACH, S. B. **Desenvolvimento de argamassa para restauração utilizando resíduo do polimento do porcelanato**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

BORTOLASSI, A. C. C. **Desenvolvimento e avaliação de meios filtrantes com nanofibras eletrofiadas e agentes bactericidas aplicados na filtração de ar**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019.

CELITE. Qual bacia sanitária economiza mais água?. 2020. Disponível em: <<https://www.celite.com.br/blog/qual-bacia-sanitaria-economiza-mais-agua/>>. Acesso em: 12 Out. 2020.

DECA. Bacia para caixa acoplada. 2020a. Disponível em: <<https://www.deca.com.br/produto/bacia-para-caixa-acoplada-branco-p11117>>. Acesso em: 16 out. 2020.

DECA. Kit duplo acionamento caixa acoplada. 2020b. Disponível em: <<https://www.deca.com.br/produto/kit-universal-duplo-acionamento-caixa-acoplada-bruto-1100si6001/>>. Acesso em: 16 out. 2020.

DEOREO, W. B. *et al.* Residential End Uses of Water, Version 2. 2016. Disponível em: <https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2016/04/WRF_REU2016.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

DIDÁTICA. Alcool Etilico Absoluto 99,5% Puro 1L. 2020. Disponível em: <<https://www.didaticasp.com.br/alcool-etilico-absoluto-995-puro-1l>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

DOCOL. Válvula de descarga 1.1/2" com acabamento clássica salvágua. 2020. Disponível em: <<https://www.docol.com.br/01021506-valvula-de-descarga-1-1-2-com-acabamento-classica-salvagua-p989038>>. Acesso em: 16 out. 2020.

FERNANDES, B. R. B. **Aproveitamento dos finos de scheelita utilizando concentração centrífuga e lixiviação ácida**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

FUJIMOTO, R. K.; NUNES, S. S.; ILHA, M. S. O. Análise dos testes de detecção de vazamentos em bacias sanitárias. In: Encontro Nacional de Tecnologia Ambiente Construído, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC. 2002. 1877- 1886 p.

GALVÃO, A. C. **Estudo dos compósitos de PURM com rejeitos do porcelanato e da scheelita para aplicação em isolantes térmicos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

GERARB, C. S. F. T. A. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.

GONÇALVES, O. M.; ILHA, M. S. O.; AMORIM, S. V.; PEDROSO, L. P. Indicadores de Uso Racional da Água para Escolas de Ensino Fundamental e Médio. **Ambiente Construído**. Porto Alegre v. 5, n. 3, p. 63. 2005.

GONÇALVES, O. M.; IOSHIMOTO, E.; OLIVEIRA, L. H. DTA F1: Tecnologias poupadoras de água nos sistemas prediais. **PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**. Brasília. 1999.

GONÇALVES, O. M.; OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para detecção e correção de perdas de água por vazamentos em sistemas hidráulicos prediais**. LSP/PCC/EPUSP. São Paulo. 1998.

GRISHAM, A.; FLEMING, W. M. Long-term options for municipal water conservation. **Journal AWWA**. v. 81, n. 3 p. 34-42, 1989.

HUANG, W. WANG, Y. CHEN, C. LAW, J. L. M. HOUGHTON, M. CHEN, L. Fabrication of flexible self-standing all-cellulose nanofibrous composite membranes for virus removal. **Carbohydrate polymers**, Canada, v. 143, p. 9-17. 2016.

HYDRA. Botão de acionamento duplo. 2020. Disponível em: <<https://www.lojatudo.com.br/descargas/botao-de-acionamento-duplo-superior-cromado-duo-hydra.html>>. Acesso em: 14 out. 2020.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O conselho nacional de recursos hídricos na visão de seus conselheiros**. 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/relatoriosconselhos/120719_relatorio_recur_sos_hidricos.pdf>. Acesso em: 09 out. 2020.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Blucher, 2013. Cap.13, p. 274-285.

KALBUSCH, A.; GONÇALVES, F.; CUREAU, R. J.; DEFAVERI, D.; RAMOS, D. A. Avaliação das condições de operação de equipamentos hidrossanitários em edificações públicas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 393-408. 2018.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, v. 6 n.1, p. 75-90. 2006.

LIU, J.; MAO, J.; YE, H.; ZHANG, W. Geology, geochemistry and age of the Hukeng tungsten deposit, Southern China. **Ore Geology Reviews**, v. 43, n. 1, p. 50-61. 2011.

MATOS, P. R. *et al.* Rheological behavior of Portland cement pastes and self-compacting concretes containing porcelain polishing residue. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 508-518. 2018.

MEDEIROS, A. G. **Propriedade de concreto sustentável produzido com pó do polimento do porcelanato e resíduo da scheelita**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2019.

MEDEIROS, B. A.; BARBOSA, N. P.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. C. Mechanical properties of mortar produced with the replacement of natural sand by scheelite residue. **Cerâmica**, v. 65 n.375, p. 443-451. 2019.

MERCK. Azul de bromotimol. 2020. Disponível em:< https://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/Bromothymol-blue,MDA_CHEM-103026>. Acesso em: 14 out. 2020.

MERCK. **Nota técnica nº 103026 de 29 de janeiro de 2018**. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. Disponível em: https://www.merckmillipore.com/Web-PT-Site/en_US/-/EUR/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-103026&DocumentType=MSD&DocumentId=103026_SDS_BR_Z9.PDF&DocumentUID=326166&Language=Z9&Country=BR&Origin=SERP >. Acesso em: 15 dez. 2020.

META. Azul de bromotimol pa ACS 25g- Química moderna formula .2020. Disponível em:< <https://www.metaquimica.com/azul-de-bromotimol-pa-ac-s-25g-quimica-moderna-formula-c27h28br2o5s.html>>. Acesso em: 20 out. 2020.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de soluções, reagentes e solventes**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007. Cap.3, p. 198.

NUNES, S. da S. **Estudo da conservação de água em edifícios localizados no campus da Universidade Estadual de Campinas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

OLIVEIRA, L. H. As bacias sanitárias e as perdas de água nos edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 39-45. 2002.

OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para implementação de programa de uso racional da água em edifícios**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

OKAMURA, E. K. Economia de água em bacias sanitárias. **Revista Ciência do Ambiente**, v. 2, p. 11-19. 2006.

PINTO, S. C. **Curso básico de mecânica dos solos**. 4. ed. São Paulo: Oficina Textos, 2011. Cap.6, p. 113-142.

PNCDA. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**. DTA F2: Produtos economizadores nos sistemas prediais. Brasília. 2003.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Paulo: EESC-USP, 2006. Cap.12, p. 360.

RESO. Vende-se pet granulado.2020. Disponível em:< <http://resoambiental.com/portfolio-item/vende-se-pet-granulado/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

RICCHINI, R. Identificando os plásticos. 2020. Disponível em: <<https://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-plastico/identificando-os-plasticos/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água tecnologia atualizada**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1991. Cap.3, p. 29.

RODEL, M. R.; LOPES, C.; WERLANG, J.; LOPES, S. Estudo de caso: Plano de gerenciamento de recursos hídricos (PGRH) do complexo industrial de Camaçari. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 1-4. 2013.

SABNIS R. W. **Handbook of acid-base indicators**. 1. ed. San Francisco- USA. CRC. 2007. 54p.

SABESP. **Aprenda a controlar seu consumo de água**. Folheto Informativo. 2018. Disponível online< site.sabesp.com.br >: Acesso em: 15 de outubro de 2020.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARROS JÚNIOR, G.; SANTOS, J. K. L. S.; BRITO, E. T. F. S. Uso racional da água: ações interdisciplinares em escola rural do semiárido brasileiro. **Revista Ambi-Água**, v. 8, p. 263-271. 2013.

SAUTCHÚK, C. A. **Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SILVA, A. L.; LUNA, C. B. B.; CHAVES, A. C.; NEVES, G. A. Caracterização tecnológica de novos depósitos de argilas da região sul do Amapá visando aplicações na indústria cerâmica. **Revista Matéria**, Campina Grande, v. 22, p. 22-31. 2017.

SOARES, A. L. F. **Gerenciamento da demanda de água em ambientes de uso público: o caso da Universidade Federal de Campina Grande**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SOLUCENTER. Bacia para banheiro PNE. 2020. Disponível em:< <https://torneiraeletronica.com.br/produto/bacia-para-banheiro-pne-com-abertura-para-hospitais-e-clinicas-com-caixa-acoplada-35-008-35-009/158971>>. Acesso em: 14 out. 2020.

SOUSA, P. K. R.; VERÍSSIMO, S. F.; COSTA, L. I. O.; RODRIGUES, L. F. V.; FARIAS, T. R. L.; AGUIAR, M. F. P. Avaliação de métodos indiretos e de laboratório para determinação da condutividade hidráulica saturada de areias de dunas de fortaleza/CE. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São Paulo: ABRHidro, 2019. p. 1-8.

SSWM (SUSTAINABLE SANITATION AND WATER MANAGEMENT). REDUCE WATER CONSUMPTION AT HOME. Disponível em:< <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-use/hardware/optimisation-wateruse-home/reduce-water-consumption>> Acesso em: 16 de outubro de 2020.

USGS. Mineral commodity Summaries 2018. **U.S Geological Survey**, Porto Alegre, 2018, v. 24, n. 1, p. 178-179.

UFERSA. **Plano de Gestão de Logística Sustentável - PLS da UFERSA**. Mossoró. 2019.

VALÊNCIO, I. P.; GONÇALVES, O. M. Estudo laboratorial em bacias sanitárias de 4,8 L/descarga. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 445-458, 2018.

WITT, M. R; SILVA, S. P.; ALBACH, D. M. Destinação planejada de resíduos cerâmicos no contexto do design para sustentabilidade. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 35-42. 2018.