

**Práticas ambientais em laboratórios químicos universitários: uma revisão sistemática de literatura**

**Environmental practices in university chemical laboratories: a systematic literature review**

**Prácticas ambientales en laboratorios químicos universitarios: una revisión sistemática de la literatura**

Recebido: 10/06/2020 | Revisado: 24/06/2020 | Aceito: 01/07/2020 | Publicado: 09/08/2020

**Cynthia Firmino Aires**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3841-4113>

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: [aires.cynthia@gmail.com](mailto:aires.cynthia@gmail.com)

**Handson Cláudio Dias Pimenta**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9450-7907>

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: [handson.pimenta@ifrn.edu.br](mailto:handson.pimenta@ifrn.edu.br)

**Resumo**

Esta pesquisa tem como objetivo identificar práticas ambientais implementadas em laboratórios químicos universitários visando a sua disseminação. Para tanto, o método utilizado compreendeu uma revisão sistemática de literatura usando três bases de dados: Scopus, Web of Science e Scielo. No total, 35 artigos foram selecionados com base em critérios de inclusão de uma amostragem inicial de 2.514. A análise dos artigos selecionados permitiu a identificação de 46 práticas ambientais implementadas em laboratórios químicos universitários. Essas práticas foram categorizadas de acordo com o aspecto ambiental ou conforme relacionado a gestão e controle ambiental, a saber: gerenciamento de resíduos, gerenciamento de produtos químicos, educação ambiental, eficiência energética, conservação da água, gestão e planejamento, design da infraestrutura e conformidades legais. Por fim, essa revisão sistemática amplia a literatura ao abordar diferentes práticas ambientais além do gerenciamento de resíduos químicos, como por exemplo o gerenciamento de produtos químicos, a educação ambiental e as relacionadas à gestão e planejamento.

**Palavras-chave:** Práticas ambientais; Laboratório químico; Revisão sistemática de literatura; Ensino.

### **Abstract**

This research aims to identify environmental practices implemented by chemical laboratories of universities in order to enhance their dissemination. For that, a systematic literature review was carried out, taking into consideration three databases: Scopus, Web of Science and Scielo. Based on clear inclusion criteria, 35 articles were selected from an initial sample of 2.514. The results evidenced 46 environmental practices implemented, which were categorised according to the environmental aspect or environmental management and control, namely: waste management, chemicals, environmental education, energy efficiency, conservation management, planning, infrastructure design and legal compliance. This review contributes to the knowledge hence other environmental practices are discussed beyond the traditional focus of the literature, i.e. chemical waste management. This includes other practices, for instance the management of chemical products, environmental awareness and as related to management and planning.

**Keywords:** Environmental practices; Chemical laboratory; Systematic literature review; Teaching.

### **Resumen**

Esta investigación tiene como objetivo identificar las prácticas ambientales implementadas en laboratorios químicos universitarios con el objetivo de su difusión. Para eso, el método utilizado comprendió una revisión sistemática de la literatura utilizando tres bases de datos: Scopus, Web of Science y Scielo. En total, se seleccionaron 35 artículos con base en los criterios de inclusión de una muestra inicial de 2,514. El análisis de los artículos seleccionados permitió identificar 46 prácticas ambientales implementadas en laboratorios universitarios de química. Estas prácticas se clasificaron según el aspecto ambiental o en relación con la gestión y el control ambiental, a saber: gestión de residuos, gestión de productos químicos, educación ambiental, eficiencia energética, conservación, gestión y planificación del agua, diseño de infraestructura y cumplimiento legal. Finalmente, esta revisión sistemática amplía la literatura al abordar diferentes prácticas ambientales además del manejo de desechos químicos, como el manejo de productos químicos, la educación ambiental y aquellos relacionados con el manejo y la planificación.

**Palabras clave:** Prácticas ambientales; Laboratorio químico; Revisión sistemática de la literatura; Enseñanza.

## 1. Introdução

A utilização de laboratórios nas instituições de ensino e pesquisa contribuem para o progresso da pesquisa científica. Especialmente na área da química, os laboratórios potencializam o desenvolvimento teórico alinhado à prática (Goi & Santos, 2020), impulsionando a capacidade técnica e a formação profissional dos alunos (Goodwin, 2004). Todavia, os mais variados procedimentos realizados nesses laboratórios, em associação com a complexidade de produtos químicos, resultam na geração de diversos aspectos ambientais que podem gerar consequências negativas ao meio ambiente.

A geração de resíduos sólidos perigosos (Geng, Liu, Xue & Fujita, 2013), o descarte de efluentes líquidos (Ho & Chen, 2018) e o consumo elevado de energia (Kaplowitz, Thorp, Coleman & Yeboah, 2011) são exemplos de aspectos ambientais críticos em laboratórios químicos. Enfatiza-se também um alto grau de toxicidade dos resíduos, efluentes e emissões lançadas pelos laboratórios conforme evidências da literatura (Alves, Henrique, Xavier & Cammarota, 2005; Benatti, Tavares & Guedes, 2006; Fagnani & Guimarães, 2017). Consequentemente, a ausência de controle desses aspectos ambientais gerados pelos laboratórios químicos pode causar impactos tanto ao meio ambiente (por exemplo, poluição das águas, solo e ar), como impactos à saúde da equipe de colaboradores e da sociedade (Houry & Wehbe, 2003; Zach, 2000).

Diante disso, os diversos aspectos ambientais demandam a implementação de práticas de controle. As práticas ambientais são ações ou processos implementados com o intuito de contribuir com o equilíbrio do uso dos recursos finitos do meio ambiente (Marteel-Parrish & Newcity, 2017). Consistem em um diversificado escopo de desenvolvimentos estratégicos visando minimizar os impactos ambientais causados pelas atividades organizacionais (Río-Rama, Álvarez-García & Oliveira, 2018). Assim, a implementação de práticas ambientais atua na redução dos efeitos negativos ao meio ambiente (Pereira, Jabbour, Oliveira & Teixeira, 2014), podendo proporcionar vantagens ambientais, econômicas e para a saúde humana (Woolliams, Lloyd & Spengler, 2005).

Com base na literatura, foi observada uma tendência com maior ênfase em estudos sobre a adoção de práticas associadas ao gerenciamento dos resíduos químicos (por exemplo, Lara et al., 2017; Leite, Alcântara & Afonso, 2008; Nascimento & Tenuta Filho, 2010; Santos, Afonso, Mendizabal & Dayrit, 2011; Imbrosi et al., 2006; Drummond, 2006) pelos laboratórios químicos universitários. De fato, quando se remete à proteção ambiental, o

gerenciamento dos resíduos representa uma preocupação constante (Gonçalves, Sanfelice & Santos, 2020). No cenário dos laboratórios químicos, tal realidade pode ser compreendida pelas crescentes iniciativas das universidades em reduzir a quantidade de resíduos gerados, seja por demandas compulsórias ou redução de custo (Mooney, 2004). Ademais, a diversidade de resíduos químicos gerados em laboratórios é uma temática que traz frequentes discussões por requerer práticas que visam minimizar os impactos ambientais que podem ser causados (Jardim, 1998; Nascimento & Tenuta Filho, 2010).

No entanto, outras práticas ambientais precisam ser estudadas tendo em vista que os problemas ocasionados pelos laboratórios químicos universitários não se restringem apenas ao gerenciamento de resíduos. Além disso, o entendimento sobre as práticas ambientais é primordial para ocasionar mudanças na prática para a tomada de decisão por pesquisadores e gestores/coordenadores dos laboratórios universitários, visando a implementação e disseminação de práticas (Tranfield, Denyer & Smart, 2003), inserindo um contexto mais próximo da sustentabilidade.

Assim, este estudo se norteia pelo seguinte questionamento: quais práticas ambientais implementadas por laboratórios químicos universitários? Com isso, o objetivo desta pesquisa é identificar práticas ambientais em laboratórios químicos universitários por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura (SRL). A RSL permite desenvolver uma busca ampla na literatura, além de condensar sistematicamente informações específicas por meio do mapeamento e avaliação dos estudos existentes, identificando lacunas e ampliando a possibilidade para novos estudos (Salim, Rahman & Wahab, 2019; Tranfield et al., 2003).

Esta pesquisa, portanto, preenche o vazio na literatura ao direcionar uma visão sistemática sobre práticas ambientais adotadas por laboratórios químicos universitários. Ademais, aborda uma discussão ao analisar as pesquisas existentes sobre práticas ambientais em laboratórios químicos, indo além da argumentação tradicional abordada na literatura limitada ao gerenciamento de resíduos químicos. Do mesmo modo, tem potencial de aplicação prática, uma vez que contribui apontando as principais ações ambientais que podem ser disseminadas nos laboratórios químicos para desenvolver a sustentabilidade, bem como se estendendo a outros tipos de laboratórios similares.

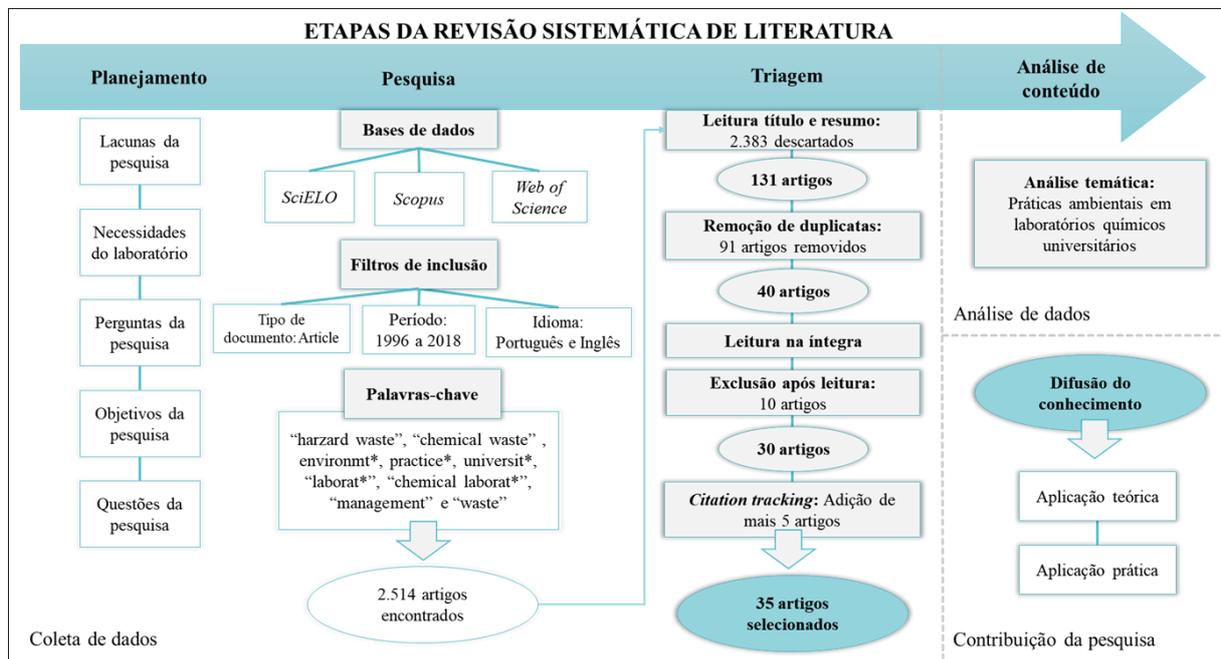
## 2. Metodologia

Com base no objetivo proposto, uma revisão sistemática de literatura (RSL) foi realizada de acordo com Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Denyer e Tranfield (2006). A RSL, contrariamente das revisões de literatura tradicionais, tem como particularidades evitar que os resultados apontem para uma mesma vertente (Salim et al., 2019) além de detalhar de forma compreensível os passos aplicados possibilitando a repetição dos procedimentos a serem adotados por outros pesquisadores (Nawaz & Koç, 2018; Tranfield et al., 2003).

### 2.1 Coleta de dados

A fase da coleta de dados seguiu o protocolo da RSL composto por quatro etapas: planejamento, pesquisa, triagem e análise de conteúdo. A Figura 1 apresenta de forma sintetizada todas essas etapas.

**Figura 1** – Protocolo da pesquisa.



Fonte: Autores (2019).

É possível observar que a primeira etapa compreendeu o planejamento com a elaboração da questão-problema ancorada nas lacunas da literatura e as necessidades dos laboratórios, bem como alinhada ao objetivo do estudo. Na fase da pesquisa, a busca por artigos foi realizada com a seleção das bases de dados, os filtros de inclusão utilizados e as

palavras-chave usadas para as combinações. Em seguida, a etapa da triagem demonstra o caminho para a seleção dos artigos com foco no objetivo da pesquisa. Por fim, o último passo abrange a análise de conteúdo por meio de uma abordagem temática acerca das práticas ambientais em laboratórios químicos universitários.

### 2.1.1 Planejamento

O planejamento compreendeu formular questões científicas para a condução do desenvolvimento da pesquisa, sendo definidas com base em aspectos relevantes abordados na literatura e, principalmente, preencher as lacunas identificadas. Sendo assim, esta pesquisa está ancorada em termos ou conceitos para responder o seguinte questionamento: quais práticas ambientais implementadas por laboratórios químicos universitários?

### 2.1.2 Pesquisa

Na fase da pesquisa, três bases de dados foram selecionadas para atender ao estudo: *Scielo*, *Web of Science* e *Scopus*. Após escolhidas as bases, a busca dos artigos deu início com a combinação de três ou quatro palavras utilizando-se o conector booleano “AND”. O Quadro 1 demonstra como as combinações foram conduzidas.

**Quadro 1** – Exemplos de combinações de palavras.

Setor	Conector	Ambiental	Conector	Gestão	Conector	Local
Palavra 1		Palavra 2		Palavra 3		Palavra 4
"chemical laborat*"	AND	environment*	AND	practice*	AND	-
universit*	AND	"chemical waste"	AND	management	AND	laborat*

Fonte: Autores (2019).

Nota-se que quatro grupos distintos apresentados no Quadro 1 foram utilizados para caracterizar as colunas, sendo essas relacionadas ao setor, a questão ambiental, a gestão/gerenciamento e, por fim, ao local. As palavras 1 encontradas na coluna ‘Setor’ permaneceram fixas e o cruzamento procedeu com a alternância das outras palavras. Quando necessário, uma quarta palavra foi adicionada na coluna ‘Local’ para especificar a busca. No total, nove palavras-chave que estivessem alinhadas aos quatro grupos foram selecionadas ("chemical laborat\*", universit\*, environment\*, management, waste, "chemical waste",

"hazard waste" e "laborat\*"), resultando em 17 combinações. Em adição, foram utilizados os recursos das aspas e o operador de truncagem asterisco (\*) nas palavras para garantir mais especificidade a busca. O idioma escolhido foi o português para pesquisa na *Scielo* e o inglês, para *Scopus* e *Web of Science*.

Foram utilizados como critérios na busca de artigos: estudos publicados a partir de 1996 até o presente; restritos a título do artigo, resumo e palavras-chave; limitados ao tipo *article*; o idioma *english*; de acesso livre; e alinhamento com as questões científicas. O corte temporal escolhido parte do surgimento do conceito do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em 1996. Para Rino e Salvador (2017) a partir da adoção de um SGA ocorreu uma difusão de práticas ambientais nas organizações fundamentada nos princípios e diretrizes desse Sistema. Assim, após incluir todos os critérios de busca, 2.514 artigos no total foram encontrados.

### **2.1.3 Triagem**

Conforme a Figura 1, foi realizada a leitura do título e resumo dos artigos encontrados, sendo 2.383 descartados por não abordarem o tema estudado. Os artigos excluídos eram, em especial, relacionados à estudos sobre resíduos de laboratórios da área de saúde, riscos de acidentes, resíduos urbanos e estudos de sustentabilidade em universidades que não contemplavam laboratoriais químicos. Dos 131 artigos restantes, foram removidas 91 duplicatas entre as bases, resultando em 40 artigos.

Após a leitura na íntegra, 10 artigos ainda foram descartados por não apresentarem informações compatíveis com objetivo da pesquisa por tratar de resíduos em universidades de forma ampla, sem especificar laboratórios químicos. Dessa forma, foi considerado questionável suas informações e, por isso, excluídos. Em seguida, foram adicionados como fontes secundárias mais 5 artigos por *citation tracking*, que consiste em selecionar artigos citados entre os já previamente selecionados da revisão, que agregasse conteúdo a pesquisa (Pimenta, 2016). Assim, uma amostragem final de 35 artigos foi selecionada para compor a SRL.

### **2.1.4 Análise de dados**

A análise de conteúdo buscou responder à questão científica a respeito das práticas ambientais implementadas por laboratórios químicos universitários, considerando a

abordagem temática. Essa abordagem consiste em um método que investiga com detalhes um conjunto de informações, apontando as tendências das pesquisas bem como facilita os estudos em análise qualitativa por possibilitar a compreensão e relação dos diferentes contextos (Attride-Stirling, 2001; Braun & Clarke, 2006). Assim, essa etapa visou compreender detalhadamente as práticas ambientais implementadas por laboratórios químicos.

Os critérios utilizados para a categorização das práticas reuniram ações que estivessem voltadas para minimizar cada aspecto ambiental presente em laboratórios químicos universitários. Desse modo, todas as práticas identificadas foram classificadas em oito categorias distintas de acordo com a medida preventiva do grupo de aspecto ambiental ou do grupo da gestão e controle ambiental, sendo elas: gerenciamento de resíduos, produtos químicos, educação ambiental, eficiência energética, conservação da água, gestão e planejamento, design da infraestrutura e conformidades legais.

### 3. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta as práticas ambientais mais significativas encontradas na literatura no âmbito de laboratórios químicos universitários. As práticas que obtiveram maior número de observações dentro de cada categoria serão discutidas. A Tabela 1 apresenta a lista completa com as 46 práticas identificadas.

**Tabela 1** – Lista completa das práticas ambientais identificadas.

	Práticas identificadas	Nº de Observações	Exemplo de autores
	<b>Gerenciamento de resíduos <sup>AA</sup></b>	<b>32</b>	
1	Tratamento interno	20	Alves et al., (2005); Benatti, Tavares e Guedes (2006)
2	Reutilização e reciclagem de resíduos/solventes	18	McLean et al. (2006); Silva et al., (2015)
3	Segregação/redução na fonte/caracterização dos resíduos/coleta seletiva	15	Jardim (1998); Afonso et al. (2003)
4	Minimização de resíduos	14	Giles (2010); Smyth, Fredeen e Booth (2010)
5	Tratamento externo	14	Drummond (2006), Wargniez, Oleas e Yamaguchi (2012)
6	Programas de gerenciamento de resíduos	11	Alberguini, Silva e Rezende (2003); Geng et al. (2013)
7	Acondicionamento e armazenamento adequado de resíduos	5	Afonso et al. (2003); Tavares e Bendassolli (2005)
8	Inventário dos resíduos produzidos	5	Montanes, Palomares e Sanchez-Tovar (2012); Fagnani e Guimarães (2017)

9	Gestão centralizada dos resíduos químicos	5	Jardim (1998); McLean et al. (2006)
10	Sistema para rastrear resíduos químicos	3	Mooney (2004); Santos et al. (2011)
<b>Práticas identificadas</b>		<b>Nº de Observações</b>	<b>Exemplo de autores</b>
11	Equipe de gerenciamento de resíduos	2	Alberguini, Silva e Rezende (2003); Giles (2010)
12	Ciclo de melhoria contínua para resíduos	1	Fagnani e Guimarães (2017)
<b>Gerenciamento de produtos químicos<sup>AA</sup></b>		<b>22</b>	
13	Etiquetas/Identificação de produtos químicos	9	Leite, Alcântara e Afonso (2003); Santos et al. (2011)
14	Inventário de produtos químicos	9	Gibbs (2005); Santos et al. (2011)
15	Sistema para rastrear e gerenciar produtos químicos	8	Giles (2010); Montanes, Palomares e Sanchez-Tovar (2012)
16	Reutilização e reciclagem de produtos químicos	6	Mooney (2004); McLean et al. (2006)
17	Substituição de produto químico menos tóxico	6	Goodwin (2005); Nascimento e Tenuta Filho (2010)
18	Intercâmbio de produtos químicos entre os laboratórios ou departamentos	4	Giles (2010); Alberguini, Silva e Rezende (2003)
19	Planejamento para compras de produtos químicos	2	McLean et al. (2006); Giles (2010)
<b>Educação ambiental<sup>GCA</sup></b>		<b>22</b>	
20	Conferências, seminários, cursos e campanhas educativas	19	Lara et al. (2017); Kilkis (2017)
21	Inserção dos conceitos da química verde na grade curricular	8	Imbrosi et al. (2006); Silva e Machado (2008)
22	Incentivo à pesquisa com química verde	4	Goodwin (2005); Mooney (2004)
23	Fixação de etiquetas nas paredes	2	Wargniez, Oleas e Yamaguchi (2012); Lara et al. (2017)
24	Intercâmbio cultural	1	Geng et al. (2013)
<b>Gestão e planejamento<sup>GCA</sup></b>		<b>15</b>	
25	Experimentos em mini escala	11	Houri e Wehbe (2003); Marteel-Parrish e Newcity (2017)
26	Manuais de laboratório	4	Afonso et al. (2003); Wargniez, Oleas e Yamaguchi (2012)
27	Programas ambientais/SGA	2	Pereira et al. (2014); Montanes, Palomares e Sanchez-Tovar (2012)
28	Avaliação do ciclo de vida de resíduos	1	Ho e Chen (2018)
29	Adoção/Melhorar a política ambiental	1	Montanes, Palomares e Sanchez-Tovar (2012)
30	Planejamento de novos processos químicos/experimentos	1	Marteel-Parrish e Newcity (2017)
31	Programa de reciclagem de equipamentos químicos e laboratoriais	1	Giles (2010)
<b>Conformidade legais<sup>GCA</sup></b>		<b>7</b>	

32	Monitoramento dos produtos químicos vencidos	3	Gibbs (2006); Santos et al. (2008)
33	Monitoramento dos resíduos perigosos	3	Drummond (2006); Smyth, Fredeen e Booth (2010)
<b>Práticas identificadas</b>		<b>Nº de Observações</b>	<b>Exemplo de autores</b>
<b>Design da infraestrutura</b> <sup>GCA</sup>		<b>7</b>	
34	Planejamento de instalações / espaço físico	5	Woolliams, Lloyd e Spengler (2005); Alberguini, Silva e Rezende (2003)
35	Sistema de ventilação	3	Kaplowitz et al. (2012); Woolliams, Lloyd e Spengler (2005)
36	Sistema de resfriamento / aquecimento de ar	2	Geng et al. (2013); Woolliams, Lloyd e Spengler (2005)
37	Sistema de iluminação / Telhado translúcido/vidro	2	Lara et al. (2017)
<b>Eficiência energética</b> <sup>AA</sup>		<b>6</b>	
38	Equipamentos de economia de energia	5	Kilkis (2017); Kaplowitz et al. (2012)
39	Lâmpadas economizadoras de energia (LED)	3	Kaplowitz et al. (2012); Geng et al. (2013)
40	Auditoria em energia	2	Geng et al. (2013); Kilkis (2017)
41	Energia solar	2	Kilkis (2017); Geng et al. (2013)
42	Desligar os equipamentos quando não estiverem em uso	1	Kaplowitz et al. (2012)
43	Cronograma diário do uso de energia	1	Kaplowitz et al. (2012)
<b>Conservação da água</b> <sup>AA</sup>		<b>4</b>	
44	Substituição de equipamento de economia de água	2	Tavares Bendassolli (2005); Kilkis (2017);
45	Sistema de captação da água da chuva	2	Geng et al. (2013); Kilkis (2017)
46	Programa de conservação de água	1	Pereira et al. (2014)

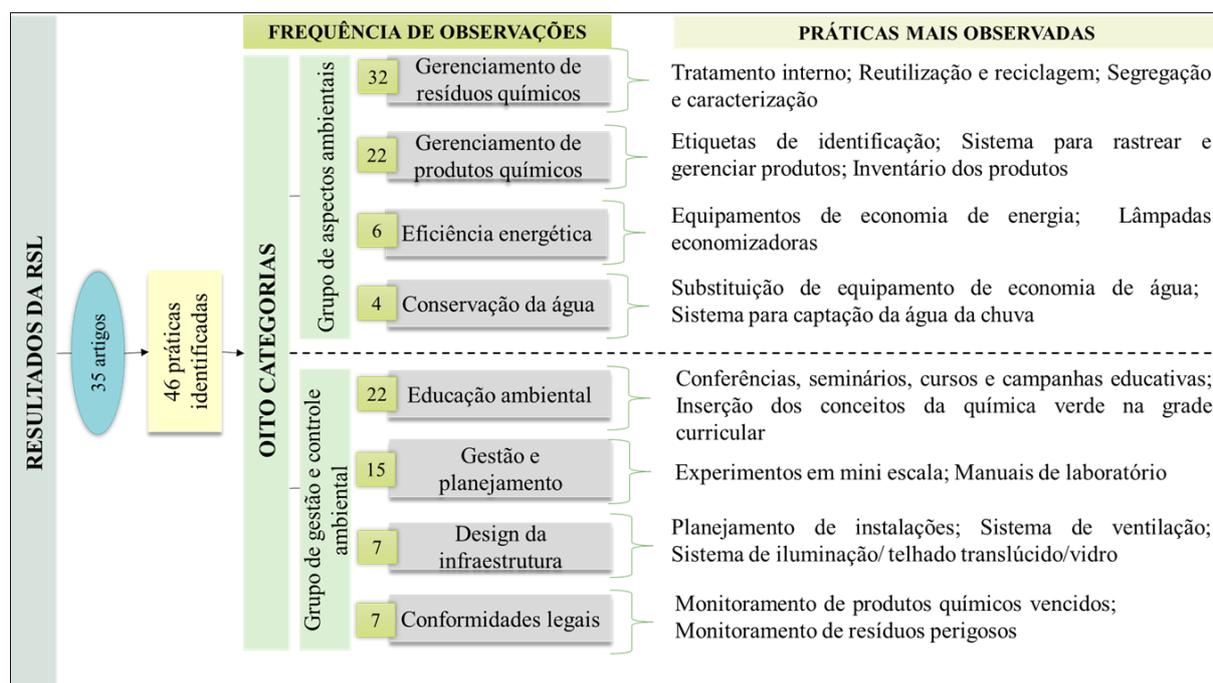
**Legenda: AA: Aspectos ambientais / GCA: Controle e gestão ambiental**

Fonte: Autores (2019).

Como ficou evidenciado na Tabela 1, todas as práticas ambientais identificadas foram distribuídas em suas categorias correspondentes. As categorias, por sua vez, foram divididas em dois grupos com base em critérios de tipologia de aspectos ambientais e gestão e controle ambiental. Os aspectos ambientais podem ser entendidos como aqueles fatores capazes de sofrer interação com o meio e causar impactos danosos ou favoráveis ao ambiente (Silva & Lopes, 2017). Esse grupo incluiu o consumo de água (conservação da água), consumo de energia (eficiência energética), geração de produtos químicos (gerenciamento de produtos químicos) e a geração de resíduos químicos (gerenciamento de resíduos químicos).

Por outro lado, a gestão e controle ambiental, correspondem a adoção de práticas para conformidade legal, controle dos aspectos ambientais (Tachizawa & Pozo, 2007) e gestão de riscos (Potrich, Cortimiglia & Medeiros, 2019). Assim, esse grupo compreende o design da infraestrutura, gestão e planejamento, educação ambiental e conformidades legais. A Figura 2 ilustra como essas categorias foram elencadas, bem como os principais resultados encontrados na revisão sistemática da literatura.

**Figura 2** – Principais achados da RSL.



Fonte: Autores (2020).

De acordo com a Figura 2, percebe-se que o gerenciamento de resíduos químicos foi preponderante como a categoria de prática mais estudada, confirmando o que vem sendo observado na literatura. Dos 35 artigos selecionados, 32 apresentaram medidas que envolvessem o gerenciamento dos resíduos químicos. Dentro dessa categoria, as práticas mais citadas possuem características mais preventivas do que corretivas como o tratamento interno com 20 artigos (por exemplo, Alves et al., 2005; Benatti et al., 2006; Zweckmair et al., 2017), seguido pela reutilização e reciclagem de resíduos com 18 (Kuo et al., 2011; Silva et al., 2015) e segregação/caracterização/coleta seletiva dos resíduos representado por 15 artigos (Smith, Fredeen & Booth, 2010; Zach, 2000). Esse resultado condiz com o princípio da química verde de priorizar a prevenção frente à geração de resíduos (Lenardão, Freitag, Dabdoub, Batista & Silveira, 2003).

Os tratamentos internos mais citados foram a precipitação em 7 pesquisas, seguidos da neutralização e a oxidação com 6 observações. Nascimento e Tenuta Filho (2010) consideram que para processos mais complexos, os tratamentos mais indicados compreendem a precipitação e oxidação. De fato, isso corrobora com os estudos de Imbriosi et al (2006) e Benatti, Tavares e Guedes (2006) em que optaram por processos de oxidação para produzir soluções menos tóxicas. Contudo, para soluções que possuem apenas alto teor de ácido ou base, o processo mais simples a ser realizado pode ser a neutralização devido o tratamento conseguir equilibrar a solução a uma faixa de pH aceitável para descartá-la como resíduo comum (Nascimento & Tenuta Filho, 2010). Uma das principais vantagens observadas de utilizar o tratamento interno durante as aulas práticas corresponde ao aprendizado e preparação para a formação dos alunos (Imbriosi et al., 2006), bem como desperta a consciência ambiental para o descarte correto dos resíduos de laboratórios químicos universitários (Nascimento & Tenuta Filho, 2010).

Referente à prática de reutilizar e reciclar os resíduos, Jardim (1998), Silva et al. (2015) e Zweckmair et al. (2017) exemplificam o reaproveitamento do que seria descartado em outro experimento nas aulas práticas seguintes. Sob outra perspectiva, Imbriosi et al (2006) pretendiam, como uma das metas de um sistema de gerenciamento de resíduos a ser implantado, reciclar quase metade deles para reintegrá-los novamente ao laboratório na forma de reagentes. Nessa linha, essa medida demonstra depender de um planejamento da equipe do laboratório e de professores da área para ser realizada. Ademais, o que pode ser observado como um padrão é a tentativa dos laboratórios em minimizar os seus resíduos gerados para não serem descartados diretamente após o uso e, sim, promover novas alternativas para que possam ser reutilizados ou reciclados.

Quanto à segregação/caracterização/coleta seletiva dos resíduos foi considerada fundamental para ordenar os resíduos de acordo com sua compatibilidade química e física. Isso favorece o tratamento adequado de cada resíduo e proporciona o aproveitamento dos compostos, quando possível (Fagnani, Guimarães, 2017; Lara et al., 2017; Leite, et al., 2008), além de possibilitar a redução de custos elevados com o tratamento (Jardim, 1998). Portanto, era esperado que essa medida obtivesse o maior número de observações dentro dessa categoria, haja vista ser considerada a etapa inicial de um gerenciamento de resíduos. Nesse sentido, enfatiza-se uma maior atenção dos gestores quanto a priorizar esta etapa ao iniciar um gerenciamento, visto que a partir de uma segregação/coleta seletiva e caracterização correta, os processos seguintes são bem mais eficazes.

A segunda categoria de prática mais observada corresponde ao gerenciamento de produtos químicos (22 artigos). Gerenciar produtos químicos consiste em processos que vão desde a identificação do produto até o seu descarte adequado. Nessa categoria, as práticas mais citadas incluíram as etiquetas de identificação assim como o inventário químico com 9 observações e sistemas para rastrear e gerenciar os produtos com 8.

As etiquetas de identificação configuram práticas em que podem ser elaborados rótulos que identificam o produto químico, classificando-o de acordo com o grau de risco ou outras características consideradas relevantes (Ho & Chen, 2018). Uma das questões mais interessantes identificadas para essa prática diz respeito à conservação a longo prazo das informações dos produtos tornando-se essencial para o gerenciamento, já que saber qual o produto está sendo manipulado possibilita direcioná-lo para o tratamento mais adequado, evitando que o mesmo se torne um passivo ambiental (Afonso, Noronha, Felipe & Freidinger, 2003; Jardim, 1998; Leite et al., 2008). Diante disso, essa atividade deve ser a etapa inicial para o gerenciamento dos produtos e, de fato, correspondeu às expectativas por receber um número expressivo de citações (9) dentro da categoria. Assim como no gerenciamento de resíduos, a identificação adequada amplia as possibilidades do uso, reaproveitamento e o tratamento adequado.

Do mesmo modo, com 9 citações, o inventário refere-se a um banco de dados com informações de todos os produtos químicos existentes no laboratório ou universidade, de acordo com a compatibilidade química, volume, quantidade, local de armazenamento, otimizando o uso e o gerenciamento de substâncias químicas (Gibbs, 2005; Silva et al., 2015). Giles (2010) relatou que inserir cada vez mais informações ao inventário dos produtos químicos na Universidade do Missouri (EUA) possibilitou o planejamento das pesquisas, em razão dos experimentos contemplarem produtos que já estavam disponíveis em estoque. Referente a essa prática, foi notório um direcionamento dos estudos quanto a relevância do inventário de produtos e suas vantagens, especialmente quanto à organização do laboratório, controle de produtos, planejamento para uso dos produtos em pesquisas como também de novas compras.

Por fim, 8 pesquisas relataram as principais formas de rastreamento e gerenciamento dos produtos químicos foram por meio da elaboração de softwares, incluindo sistemas de informações que contribuem para a segurança, identificação, consumo do que foi utilizado, estoque disponível bem como controle de prazos de validade (Santos et al., 2011) e da compra sem desperdício de novos produtos (McClean et al., 2006). Além disso, Gibbs (2005)

compreende que esses sistemas possibilitam alimentar informações facilitando processos de emissões de relatórios conforme leis e regulamentações. O autor ainda declara que esse sistema superou os entraves existentes para o gerenciamento dos produtos na *Stanford University* e pôde ser ampliado para outras instituições de ensino. Esta pesquisa compreendeu que o sistema se diferencia do inventário, pois oferece mais recursos como os mencionados anteriormente, sendo mais completo, já que o inventário pode fazer parte de um sistema de rastreamento e gerenciamento. Tal realidade pode ser enfatizada quando todos os autores que mencionaram como prática o inventário também citaram concomitantemente o sistema, com exceção de Fagnani e Guimarães (2017) que relataram apenas a caracterização quantitativa dos resíduos isoladamente de um sistema da web.

No que se refere à categoria da educação ambiental, foram também citadas em 22 artigos. O desenvolvimento de cursos, conferências e campanhas educativas foi o destaque com 19 pesquisas, depois a inserção de conceitos da química verde na grade curricular com 8.

O conjunto de ações que incluem cursos e campanhas educativas são uma forma de estimular a cultura de preservação ambiental, a implementação de práticas ambientais e a mudança de hábitos (Fagnani & Guimarães, 2017). Já a mudança na grade curricular inclui disciplinas envolvendo os conceitos da química verde (Kilkis, 2017; Leite et al., 2008). Por exemplo, Alberguini, Silva e Rezende (2003) relataram que na USP – São Carlos, diversas disciplinas sobre a temática são ofertadas visando a consciência ética, a preservação ambiental e dos alunos. Disciplinas com pauta na poluição ambiental, tratamento de resíduos, impactos ambientais e ciências do ambiente foram alguns dos temas citados pelos autores. Dessa forma, a educação ambiental consiste em uma prática que fortalece uma base para a gestão e controle ambiental de laboratórios. Isso inclui contribuições para iniciar o conhecimento, conscientização, responsabilidade, habilidades na manipulação de produtos e reagentes, assim como mudança de atitudes (Alberguini, Silva & Rezende, 2003; Montanes, Palomares & Sanchez-Tovar, 2012).

Relacionado à categoria da gestão e planejamento foi abordada em 15 estudos. A principal prática incluiu os experimentos em mini escala com 11 pesquisas (por exemplo, Goodwin, 2004; Mclean et al., 2006). Os experimentos em mini escala são tendências recorrentes que já vêm sendo utilizadas nas instituições e estabelecem uma quantidade limite para o uso de produto químico. Essa metodologia permite reduzir medidas dos componentes necessários para análise, como reagentes, água, e, além da geração de resíduos em menor proporção (Wargniez, Oleas & Yamaguchi, 2012). Em seguida, a prática da elaboração de

manuais de laboratórios foi abordada em 4 artigos contemplando entre eles os manuais de laboratório com procedimentos para melhorar as práticas com experimentos mais limpos (Marteel-Parrish & Newcity, 2017), metodologias para experimentos em mini escala (Wargniez et al., 2012), manual de segurança para o gerenciamento dos resíduos do laboratório (Afonso et al., 2003) e técnicas de como aproveitar produtos químicos vencidos (Hourí & Wehbe, 2003). Esses resultados demonstram a diversidade de estratégias que um gestor de laboratório pode incluir nas atividades diárias. Vantagens como redução do uso de produtos químicos, minimização da geração de resíduos e manuais abordando diversos temas somam ferramentas exequíveis associadas a um planejamento entre a equipe.

As conformidades legais foram observadas em 7 artigos. As observações corresponderam às conformidades de monitoramento de produtos químicos (Gibbs, 2005; Santos et al., 2011; Giles, 2010) e de resíduos (Drummond, 2006; Ho & Chen, 2018; Smyth et al., 2010) com 3 artigos cada. Gibbs (2005) relatou que a *Stanford University* nos EUA faz o monitoramento dos produtos químicos com base nos requisitos do Código Internacional de Construção (IBC) e do Código Internacional de Incêndio (IFC). As imposições estabelecidas compreenderam que o armazenamento dos produtos químicos deveria obedecer a critérios de segurança quanto ao volume e a compatibilidade química (Gibbs, 2005). Ho e Chen (2018) explicaram que em resposta ao Regulamento da Disposição de Resíduos de Taiwan, os laboratórios de ensino do país foram integrados às questões legais em 2005. A partir desse marco, todas as instituições de educação passaram, de maneira compulsória, a emitir relatórios online comprovando a disposição correta dos seus resíduos. Por fim, é interessante notar que as práticas quando são impostas legalmente aceleram a implementação. Em adição, as conformidades legais foram observadas majoritariamente por pesquisas realizadas pelos EUA, além do Canadá, Filipinas e Taiwan, demonstrando que no Brasil a fiscalização ainda não é efetiva.

A categoria de design da infraestrutura foi igualmente mencionada em 7 artigos. Práticas associadas à concepção de projetos de laboratórios foram observadas em 5 estudos (Silva & Machado, 2008; Woolliams et al., 2005). Woolliams, Lloyd e Spengler (2005) enfatizaram que na elaboração de projetos deve-se observar as necessidades do laboratório de acordo com sua finalidade. Nesse sentido, os autores apontaram como práticas a instalação de capelas, exaustores de baixo fluxo, sistemas de iluminação, bem como o uso de sensores inteligentes. Sob outra perspectiva, 3 estudos citaram sistemas de ventilação nas dependências do laboratório (Alberguini et al., 2003; Kaplowitz et al., 2012). Por fim, 2 estudos relataram

os sistemas de resfriamento e de iluminação, cada. Como exemplo, Lara et al., (2017) apontaram que em um ambiente totalmente fechado como laboratórios, uma boa opção é o uso de cobertura de vidro no telhado para favorecer a iluminação natural. É importante notar que os principais benefícios apontados com essas práticas na infraestrutura foram relacionados majoritariamente com redução de custos com a energia (Kaplowitz et al., 2012; Woolliams et al., 2005).

A eficiência energética foi uma categoria constatada em 6 artigos. A utilização de equipamentos mais eficientes quanto ao consumo com 5 estudos (Lara et al., 2017; Tavares & Bendassolli, 2005; Woolliams et al., 2005), o uso de lâmpadas economizadoras mencionados em 3 pesquisas (Geng et al., 2013; Kilkis, 2017; Lara et al., 2017) foram as práticas encontradas com maior representatividade. Kaplowitz, Thorp, Coleman e Yeboah (2011) identificaram que os equipamentos necessários ao funcionamento dos laboratórios são os maiores causadores do elevado consumo energético nesses locais. Efetivamente, a utilização de refrigeradores e equipamentos em um laboratório não podem ser interrompidos, apresentando-se como uma barreira ainda a ser superada no tocante à eficiência energética. Contudo, algumas medidas podem ser adotadas paralelamente. Por exemplo, Geng, Liu, Xue e Fujita (2013) demonstraram a utilização de energia solar, a mudança por aparelhos e equipamentos mais eficientes e a substituição por lâmpadas de LED podem levar à redução no consumo de energia.

Finalmente, a última categoria de práticas ambientais refere-se à conservação de água e foram identificadas em apenas 4 artigos. A utilização expressiva de água é uma realidade das instituições de ensino e pesquisa, devido aos processos contínuos, incluído os laboratórios (Geng et al., 2013). Nessa perspectiva, as práticas estavam associadas ao uso de equipamentos mais modernos para reduzir o consumo de água (2 artigos). Substituir destiladores por purificadores melhoram a qualidade da água para os processos analíticos em laboratórios (Kilkis, 2017; Tavares & Bendassolli, 2005). Os destiladores possuem um custo ambiental muito elevado, visto que utilizam em média 15 L de água para produzir 1 L de água destilada (Tavares & Bendassolli, 2005). Por outro lado, os purificadores mantêm uma proporcionalidade de consumo e produção de água purificada.

Sob outra perspectiva, 2 pesquisas incluíram sistemas de captação da água da chuva para as universidades, podendo contemplar laboratórios. Geng et al., (2013) apresentaram um programa de conservação de água que integrou a redução do consumo de água doce por meio da reciclagem de águas residuais e o armazenamento de águas da chuva para

reaproveitamento. Em adição, Kilkis (2017) demonstrou que um sistema para reaproveitar a água da chuva pode resultar em um percentual de economia de 10% anualmente. Nessa conjuntura, destaca-se que as práticas de conservação de água ainda são incipientes, não apresentando diversidade de alternativas. Com isso, estudos nessa temática devem ser conduzidos para ampliar as possibilidades de realização.

#### **4. Considerações Finais**

O objetivo do artigo foi identificar as práticas ambientais em laboratórios químicos. Desse modo, a revisão sistemática de literatura atendeu a esse propósito por possibilitar a análise de conteúdo dos artigos encontrados acerca das práticas implementadas. Ainda, este estudo identificou práticas ambientais que podem ser implementadas em laboratórios químicos, não se restringindo ao gerenciamento de resíduos como já bem enfatizado na literatura. Em complemento, foi possível perceber uma relação entre as práticas que compreendem os aspectos ambientais e as que compõem o controle e gestão ambiental pelo número de citações entre esses dois grupos.

As práticas de educação ambiental foram mais significativas quando referentes à conservação da água e a eficiência energética. As regulamentações estão voltadas em sua maioria para realizar o controle mais efetivo do gerenciamento dos resíduos e dos produtos químicos. A gestão e o planejamento também foram diretamente relacionados com o gerenciamento dos resíduos e dos produtos químicos. E finalmente, o design da infraestrutura estão mais associados à eficiência energética.

A abordagem do gerenciamento de produtos químicos assim como os resíduos apresentou ações mais preventivas do que corretivas, indo ao encontro dos princípios da química verde. Além disso, a principal característica do gerenciamento de resíduos foi a prática do tratamento interno, o que pode representar tentativas menos onerosas com o tratamento externo por empresa especializada. Quanto aos produtos químicos, a tendência mais comum observada é a identificação dos produtos associada ao inventário químico.

Uma perspectiva simples e bastante pertinente identificada foi a educação ambiental contemplando de forma expressiva os cursos, as palestras e as campanhas educativas. Quanto às práticas de gestão e planejamento, as principais parecem ser os experimentos em mini escala que, além de utilizar menos produtos químicos nos experimentos, possibilita a redução na geração de resíduos perigosos. No tocante às conformidades legais, estão diretamente

relacionadas ao monitoramento dos produtos químicos vencidos e aos resíduos químicos. Ainda, aparenta ser uma fragilidade em países em desenvolvimento, sendo dependentes, portanto, da região ao qual o laboratório está inserido bem como das leis impostas por cada país.

As limitações desta pesquisa compreenderam a falta de padronização de palavras ou termos acerca da temática que possuem o mesmo significado, podendo ter dificultado a busca de artigos, como por exemplo: inventário químico e quantificação dos produtos. Outro entrave diz respeito as práticas menos citadas que pode trazer resultados com ações isoladas, não apresentando um padrão representativo.

Como sugestão para futuros estudos, recomenda-se pesquisas que avaliem a adoção e difusão de outras práticas ambientais além do gerenciamento de resíduos e de produtos químicos, especialmente as que apresentaram baixo número de citações como as conformidades legais, eficiência energética, design da infraestrutura e a conservação da água, o que pode representar tendências para novas investigações. Sugere-se ainda a inclusão de outras bases de dados para ampliar o leque de artigos selecionados, como a *Springer* e *Emerald*.

## Referências

Afonso, J. C., Noronha, A. N., Felipe, R. P. & Freidinger, N. (2003). Gerenciamento de resíduos laboratoriais: recuperação de elementos e preparo para descarte final. *Quim. Nova*, 26(4), 602-611. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000400027>

Alberguini, L. B. A., Silva, L. C., & Rezende, M. O. O. (2003). Laboratório de resíduos químicos do campus USP-São Carlos – resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de resíduos químicos em um campus universitário. *Quim. Nova*, 26(2), 291-295. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000200026>

Alves, L. C., Henrique, H. M., Xavier, A. M. F., & Cammarota, M. C. (2005). Potential treatment alternative for laboratory effluents. *Bioresource Technology*, 96, 1650–1657. DOI: [10.1016/j.biortech.2004.12.028](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.12.028)

- Attride-Stirling, J. (2001). Thematic networks: an analytic tool for qualitative research. *Qualitative Research*, 1, 385-405. DOI: <https://doi.org/10.1177/146879410100100307>
- Benatti, C. T., Tavares, C. R. G., & Guedes, T. A. (2006). Optimization of Fenton's oxidation of chemical laboratory wastewaters using the response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 80, 66–74. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.08.014
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. DOI: 10.1191 / 1478088706qp063oa
- Denyer, D, &Tranfield, D. (2006). Using qualitative research synthesis to build an actionable knowledge base. *Management Decision*, 44, 213-227. DOI: 10,1108 / 00251740610650201
- Drummond, D. W. (2006). How not to be a large quantity generator of hazardous waste. *J. Chem. Health Saf.* , 13, 9-14. DOI: 10.1016/j.chs.2005.02.001
- Fagnani, E., & Guimarães, J. R. (2017). Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. *Journal of Cleaner Production*, 147, 108-118. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.080>
- Geng, Y.,Liu, K., Xue, B., & Fujita, T. (2013). Creating a “green university” in China: a case of Shenyang University. *Journal of Cleaner Production*, 61, 13-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.013>
- Gibbs, L. M. (2005). ChemTracker Consortium – The higher education collaboration for chemical inventory management and regulatory reporting. *J. Chem. Health Saf.*, 12(5), 9-14. DOI: 10.1016/j.chs.2005.01.017
- Giles, R. J. (2010). The evolution of a campus chemical and laboratory equipment recycling program. *J. Chem. Health Saf.*, 17(6), 20 – 28. DOI:<https://doi.org/10.1021/acs.chas.8b17607>
- Goi, M. E. J. &Santos, F. M. T. (2020). Laboratório experimental e resolução de problemas: construção do conhecimento químico. *Research, Society and Development*, 9(2),1-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2076>

Gonçalves, S. A., Sanfelice, R. C., & Santos, K. G. (2020). Multi-response optimization of the stabilization/solidification process of industrial hazardous waste. *Research, Society and Development*, 9(4), 1-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2997>

Goodwin, T. E. (2004). An Asymptotic Approach to the Development of a Green Organic Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 81(8). DOI: <https://doi.org/10.1021/ed081p1187>

Ho, C. C., & Chen, M. S. (2018). Risk assessment and quality improvement of liquid waste management in Taiwan University chemical laboratories. *Waste Management*, 71, 578-588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.029>

Houri, A., & Wehbe, H. (2003). Towards an environmentally friendly Química laboratory: managing expired chemicals. *Green Chemistry*, 5, 49-50. DOI: 10.1039/b305234f

Imbrosi, D. et al. (2006). Gestão de resíduos químicos em universidades: Universidade de Brasília em foco. *Quim. Nova*, 29(2), 404-409. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000200037>

Jardim, W. F. (1998). Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Quim. Nova*, 21(5), 671-673. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40421998000500024>

Kaplowitz, M. D., Thorp, L., Coleman, K., Yeboah, F. K. (2012). Energy conservation attitudes, knowledge, and behaviors in science laboratories. *Energy Policy*, 50, 581-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.060>

Kilkis, S. (2017). Comparative analyses of sustainable campuses as living laboratories for managing environmental quality. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 28, 681-702. DOI: <https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2015-0107>

Kuo, Y. et al. (2011). Stabilization of Residues Obtained from the Treatment of Laboratory Waste: Part 2-Transformation of Plasma Vitrified Slag into Composites. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 61, p. 78-84. DOI: <https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.1.78>

Lara, E. R. et al. (2017). A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 1488-1491. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.158>

Leite, Z. T., Alcântara, C. S., & Afonso, J. C. (2008). A gestão de resíduos de laboratório na visão de alunos de um curso de graduação de química e áreas afins. *Quim. Nova*, 31(7), 1892-1897. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000700051>

Lenardão, E. J., Freitag, R. A., Dabdoub, M. J., Batista, A. C. F., & Silveira, C. C. (2003). “Green Chemistry” – os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Quim. Nova*, 26(1), 123-129. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>

Marteel-Parrish, A., & Newcity, K. M. (2017). Highlights of the Impacts of Green and Sustainable Chemistry on Industry, Academia and Society in the USA. *Johnson Matthey Technology Review*, 61, 207-221. DOI: <http://dx.doi.org/10.1595/205651317X695776>

Mclean, A.; Fleetwood, D.; Townsend, T., Ohlsen, M. & Lindner, A. S. (2006). Development of a University Laboratory Chemical Inventory and Exchange Program. *Practice Periodical of Hazardous Toxic and Radioactive*, 10, 46-56. DOI: 10.1061/ASCE1090-025X200610:146

Mooney, D. (2004). Effectively minimizing hazardous waste in academia: The Green Chemistry approach. *Chemical Health & Safety*, 11(3), 24-28. DOI: 10.1016/j.chs.2004.02.004

Montanes, M. T., Palomares, A. E., & Sánchez-Tovar, R. (2012). Integrating environmental management: By introducing an environmental management system in the student laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 128-134. DOI: 10.1039 / C0RP90018D

Nascimento, E. S., & Tenuta Filho, A. (2010). Chemical waste risk reduction and environmental impact generated by laboratory activities in research and teaching institutions.

*Brasilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 46(2), 187-198. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1984-82502010000200004>

Nawaz, W., & Koç, M. (2018). Development of a systematic framework for sustainability management of organizations. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1255 – 1274. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.011>

Pereira, G. S. M., Jabbour, C., Oliveira, S. V.W. B., & Teixeira, A. A. (2014). Greening the campus of a Brazilian university: cultural challenges. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 15, 34-47. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2011-0067>

Pimenta, H. C. D. (2016). *.Diffusion of environmental and social sustainability practices across the supplier base*. (Tese de Doutorado). Cranfield University, Cranfield, Bedford, Reino Unido.

Potrich, L., Cortimiglia, M. N., & Medeiros, J. F. (2019). A systematic literature review on firm-level proactive environmental management. *Journal of Environmental Management*, 243, 273–286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.110>

Rino, C. A. F., & Salvador, N. N. B. (2017). ISO 14001 certification process and reduction of environmental penalties in organizations in Sao Paulo State, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3627 – 3633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.105>

Río-Rama, M. C., Álvarez-García, J., & Oliveira, C. (2018). Environmental practices. Motivations and Their Influence on the Level of Implementation. *Sustainability*, 10, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030713>

Salim, N., Rahman, M. N. A., & Wahab, D. A. (2019) A systematic literature review of internal capabilities for enhancing eco-innovation performance of manufacturing firms.

*Journal of Cleaner Production*, v. 209, p. 1445-1460. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.105>

Santos, J. E. R., Afonso, F. N. N., Mendizabal, F. C., JR., & Dayrit, F. M. (2011). *J. Chem. Health Saf.*, 18, 15-18. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chas.8b18607>

Silva, S., & Lopes, A. M. (2017). Aspectos ambientais e impactos de uma instalação de incineração de resíduos. *Energy Procedia*, 136, 239 – 244. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.250

Silva, F. L. F. et al. (2015). Treatment of waste from atomic emission spectrometric techniques and reuse in undergraduate lab classes for qualitative analysis. *Quim. Nova*, 38,(9), 1247-1252. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150142>

Silva, R. R., & Machado, P. F. L. (2008). Experimentação no ensino médio de química: a necessária busca da consciência ético-ambiental no uso e descarte de produtos químicos – um estudo de caso. *Ciênc. educ. (Bauru)*, 14(2), 233-249. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132008000200004>

Smyth, D. P., Fredeen, A. L., & Booth, A. L. (2010). Reducing solid waste in higher education: The first step towards ‘greening’ a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 1007-1016. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.02.008

Tavares, G. A., & Bendassolli, J. A. (2005). Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa no CENA/USP. *Quim. Nova*, 28(4), 732-738. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000400031>

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal Management*, 14, 207-222. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

Tachizawa, T., & Pozo, H. (2007). Gestão de recursos humanos em micro e pequenas empresas: um enfoque de gestão ambiental e responsabilidade social para seu crescimento. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 1(1),4-23. DOI: <https://doi.org/10.6034/13>

Wargniez, A. B., Oleas, R. C., & Yamaguchi, K. S. Improving laboratory safety through mini-scale experiments: A case study of New Jersey City University. *J. Chem. Health Saf.*, 19, 12-23, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jchas.2012.04.080>

Woolliams, J., Lloyd, M., & Spengler, J. D. (2005). The case for sustainable laboratories: first steps at Harvard University", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 6(4), 363 – 382. DOI: <https://doi.org/10.1108/14676370510623856>

Zach, A. (2000). Report: Waste management as a challenge for a laboratory in the rain forest of Ecuador. *Waste Management & Research*, 18, 190-193. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1399-3070.2000.00051.x>

Zweckmair, T. et al. (2017). Recycling of Analytical Grade Solvents on a Lab Scale with a Purpose-Built Temperature-Controlled Distillation Unit. *Org. Process Res. Dev.*, 21, 578–584. DOI: 10.1021/acs.oprd.7b00007

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Cynthia Firmino Aires – 50%

Handson Cláudio Dias Pimenta – 50%