

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE TRABALHO EM BIORREFINARIAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Kelly Keiko Maeda Ito

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientadora: **Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa**

São Carlos - SP

2021

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 29 de junho de 2021 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora: Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa

Convidada: Profa. Dra. Alice Medeiros de Lima

Professor da Disciplina: Prof. Dr. José Maria Corrêa Bueno

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a minha mãe e minha irmã, que cuidaram do meu pai enquanto eu me dedicava à graduação. Muito obrigada, pai, por ter me sustentado por tanto tempo, sei que você queria estar presente e comemorar com a gente. Mãe, você foi quem me deu todo o apoio possível, sei o quanto dedicou, e ainda dedica, à nossa família. Say, você é incrível, obrigada por cuidar da mãe nesses últimos anos.

Esses anos podem ser definidos como uma época muito intensa, mas tudo ficou mais fácil devido às pessoas maravilhosas que eu tive ao meu lado. Muito obrigada a todos vocês que me fizeram feliz nesses últimos anos, desde conhecidos até meus melhores amigos, todos contribuíram para que essa graduação fosse concluída com sucesso. Aos amigos da graduação, amigos que moraram comigo, amigos do trabalho, amigos antigos que mantive (ou tentei manter) contato durante todo esse tempo, deixo aqui meu muito obrigado! Todos vocês são muito especiais e espero tê-los sempre comigo.

Além dessas pessoas, a graduação me trouxe muito conhecimento e ensinamentos. Tenho muito orgulho de ter cursado engenharia química na UFSCar, fica aqui meu agradecimento a todos os funcionários que tornaram isso possível. Em especial, à professora doutora Paula Ferreira que me orientou durante esses meses e compartilhou todo seu conhecimento comigo. Agradeço também à professora doutora Alice e ao professor José Maria por participarem dessa banca.

Por fim, não poderia deixar de agradecer à pessoa que mais lutou para que isso acontecesse: eu mesma. Essa conquista é minha e compartilho com todas as pessoas citadas direta, ou indiretamente, nesse trabalho.

RESUMO

ITO, Kelly Keiko Maeda. **Avanços científicos e tecnológicos da segurança de processos no setor sucroalcooleiro e biorrefinarias.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Química]. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, 2021.

O crescente aumento de casos de acidente de trabalho vem sendo registrado, resultando também no crescimento de mortes no Brasil. Isso implica a necessidade de avaliação de risco específica com o objetivo de definir as medidas de mitigação, que podem minimizar o impacto dos perigos na saúde dos trabalhadores. Através deste estudo, será possível avaliar os riscos aos quais as indústrias de produção de álcool, açúcar e biogás estão submetidas, seus avanços científicos e tecnológicos em termos de segurança e, então, propor um protótipo de biorrefinaria ideal em termos de segurança industrial através da recomendação de uma série de medidas preventivas. Para isso, foram realizados levantamentos de acidentes registrados desses setores, tanto no Brasil quanto ao redor do mundo, através de uma revisão bibliográfica que englobou 22 publicações, entre artigos, TCCs, dissertações e teses, além de manuais de segurança. Foi observada uma ausência de estudos brasileiros relacionados à segurança na produção de biogás, enquanto os estudos acerca da indústria sucroalcooleira foram concentrados no estado de São Paulo. Em relação aos principais perigos encontrados na produção de biogás e em usinas sucroalcooleiras, têm-se explosões e problemas relacionados a altas temperaturas, respectivamente. Para evitá-los, necessita-se de válvulas de controle de pressão e temperatura, sistemas de monitoramento de vazamento de gases e, principalmente, uma gestão voltada para a manutenção e capacitação dos trabalhadores. Para a criação de usinas integradas e seguras é necessária uma série de medidas de prevenção que podem se adequar a ambas, indicando que as boas práticas de segurança industrial se aplicam a ambos os casos.

Palavras chaves: Acidente de trabalho, Biogás, Cana-de-açúcar, Incêndio, Riscos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição geográfica de notificações de acidentes (2012-2020)	4
Figura 2.2 - Classificação de riscos industriais	7
Figura 2.3 - Diamante de Hommel	11
Figura 2.4 - Produção de açúcar em São Paulo e no Brasil	15
Figura 2.5 - Fluxograma de uma usina sucroalcooleira	18
Figura 2.6 - Histórico de acidentes na fabricação de açúcar (2012-2020)	19
Figura 2.7- Histórico de acidentes na fabricação de álcool (2012-2020)	20
Figura 2.8 - Lesões mais frequentes na produção de sucroalcooleira (2012-2020)	26
Figura 2.9 - Grupos de agentes causadores mais frequentes na produção sucroalcooleira (2012-2020)	26
Figura 2.10 - Etapas da produção de biogás	34
Figura 2.11- Biodigestão da vinhaça na Usina São Martinho	36
Figura 2.12 - Distribuição das plantas de biogás no Brasil no ano 2020	37
Figura 2.13 - Quantidade de plantas em operação e volume de biogás produzido (2003-2019)	37
Figura 2.14 - Projeção para vinhaça e torta de filtro	39
Figura 2.15 - Histórico de acidentes na produção de gases (2012-2020)	40
Figura 2.16 - Diagrama de inflamabilidade	41
Figura 2.17 - Top 3 grupos de agentes e lesões na produção de gases* (2012-2020)	42
Figura 2.18 - Classificação de zonas explosivas	44
Figura 2.19 - Segurança Inerente versus Segurança Extrínseca	45
Figura 4.1 - Distribuição das indústrias dos materiais consultados	47
Figura 4.2 - Distribuição geográfica de estudos de casos relacionados a produção de biogás e indústria sucroalcooleira	47
Figura 4.3 - Distribuição geográfica brasileira relacionada aos estudos de casos analisados nas publicações analisadas	48
Figura 4.4 - Distribuição temporal dos estudos analisados nas referências analisadas	51
Figura 4.5 - Medidas de segurança em biorrefinarias de cana-de-açúcar	55

LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 - Normas Regulamentadoras	8
Tabela 2.2 - Classificação de acidentes na produção de açúcar e álcool (2006-2018)	21
Tabela 2.3 - Lesões e grupos de agentes causadores mais frequentes da produção sucroalcooleira (2012-2020)	25
Tabela 2.4 - Biomassas agroindustriais e suas aplicações	28
Tabela 2.5 - Características usadas na classificação de biorrefinarias	31
Tabela 2.6 - Potencial do biogás de cana-de-açúcar no Brasil	38
Tabela 4.1 - Artigos lidos e analisados na revisão bibliográfica	50
Tabela 4.2 - Itens analisados por referências analisadas	51
Tabela 4.3 - Etapas na produção de açúcar e álcool que apresentam mais riscos	52
Tabela 4.4 - Maiores problemas na produção de açúcar e álcool	52
Tabela 4.5 - Maiores problemas na produção de biogás	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 ACIDENTES E SEGURANÇA DO TRABALHO	3
2.2 NORMAS DE SEGURANÇA	7
2.3 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA	13
2.3.1 Indústria sucroalcooleira no Brasil	13
2.3.2. Processo industrial sucroalcooleiro	16
2.3.3 A segurança do trabalho no setor sucroalcooleiro	19
2.4 BIORREFINARIAS	27
2.4.1 Biogás no Brasil	32
2.4.3 A segurança em biorrefinarias	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 REVISÃO DA LITERATURA	45
3.2 DIAGRAMA DE SEGURANÇA	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 SEGURANÇA INDUSTRIAL EM BIORREFINARIAS	46
4.2 MEDIDAS PREVENTIVAS	53
4.3 DISCUSSÕES	58
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	61
6 REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trabalho são uma grande preocupação para a sociedade, sendo considerados como um dos maiores problemas de saúde pública em todo o mundo. Em relação ao Brasil, o cenário não é diferente, uma vez que o país ocupa a 4ª posição entre aqueles com maior número de acidentes de trabalhos fatais, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, Tailândia e China (Ramos, 2019). Segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, entre 2012 e 2020, o Brasil registrou, no total, mais de 5,5 milhões de casos de acidentes de trabalho notificados, resultando em aproximadamente 20 mil acidentes com mortes registradas. Além disso, estima-se que a fabricação de açúcar ultrapassou o número de 70 mil notificações de acidentes de trabalho durante o mesmo período, enquanto a produção de álcool atingiu a casa de 35 mil acidentes.

Dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) mostram que o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, tornando o país responsável pela produção de 20% de todo o açúcar do mundo, indicando a importância do setor para a economia brasileira. Já o etanol produzido no país possui a menor quantidade de carbono equivalente emitida na atmosfera, se comparado a outros países ao redor do mundo, mas apesar da tecnologia de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar ser bastante consolidada no mercado brasileiro, o aumento da demanda de biocombustíveis indica a necessidade de aumentar cada vez mais sua produção, o que pode ser feito através da utilização de seus subprodutos como matéria-prima em biorrefinarias. Dentre esses subprodutos, pode-se citar o bagaço da cana-de-açúcar e a vinhaça, biomassas abundantes que podem ser utilizadas em usinas para produção de energia, contribuindo para que o setor sucroalcooleiro se torne cada vez mais sustentável. Estudos indicam que a carência de unidades sustentáveis no país é resultado da ausência de informação acerca das complexidades dessa indústria, fazendo com que o investimento financeiro nesse setor seja bastante arriscado. Diante disso, torna-se necessário o entendimento das nuances dessa tecnologia, bem como o conhecimento das formas de tornar o processo cada vez mais seguro.

No Brasil, a segurança do trabalho é garantida por lei através da Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho que estabeleceu as normas regulamentadoras brasileiras, além delas, o governo frequentemente cria

decretos e portarias com a finalidade de tornar o ambiente laboral mais seguro. Segundo a legislação nº 8.213, de 24 de julho de 1991, acidente de trabalho é aquele que provoca lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, perda ou redução, permanente ou não, da capacidade do trabalhador, além disso, pode ocorrer durante ou em decorrência de suas funções.

Os dados disponíveis no Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho indicam que São Paulo é o estado com maior número de acidentes, possuindo 3 vezes mais casos que o segundo colocado, Minas Gerais, e, coincidentemente, esse estado também é o maior produtor de açúcar do país (UNICA, 2021). Os acidentes de trabalho estão relacionados ao projeto, operação e manutenção de plantas industriais, etapas que apresentam riscos que, na maioria das vezes, podem ser evitados e até eliminados. Suas consequências não estão estendidas apenas às vítimas, mas também a seus familiares, à sociedade, à própria empresa e ao governo; estima-se que no ano de 2020 foram gastos 17,5 bilhões de reais com auxílio doença e R\$ 68,5 bilhões com aposentadoria por invalidez (INSS, 2020).

O governo brasileiro participou da Assembleia Geral da ONU, em 2015, com outros 192 representantes de Estados-membros da ONU. Nela, foi criada a Agenda 2030, um plano de ação com 17 objetivos que visam erradicar a pobreza e promover uma vida digna para todos os seres humanos e o planeta. O oitavo objetivo se refere ao trabalho decente e crescimento econômico, o qual tem como principal objetivo promover o crescimento sustentável e inclusivo. Composto por 12 metas, ele busca proteger e garantir os direitos trabalhistas, além de promover um ambiente de trabalho seguro para todos os trabalhadores (Plataforma Agenda 2030, 2021).

Uma das formas de garantir a segurança e evitar que acidentes ocorram é através do conhecimento, sendo assim, é necessário entender o processo industrial e suas especificidades, além de observar os erros passados a fim de evitá-los. Este trabalho apresenta os resultados em termos de segurança de trabalho de uma biorrefinaria sucroalcooleira, visando dotar a indústria de uma ferramenta prática, capaz de proteger seus trabalhadores. O trabalho permitiu definir medidas técnicas e organizacionais voltadas à prevenção e mitigação dos perigos com o auxílio de revisão bibliográfica e, a partir desta análise, um diagrama de segurança estruturado a partir de medidas preventivas foi derivado, para a real eficácia das medidas gerais de segurança e para garantir uma gestão mais segura da usina sucroalcooleira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ACIDENTES E SEGURANÇA DO TRABALHO

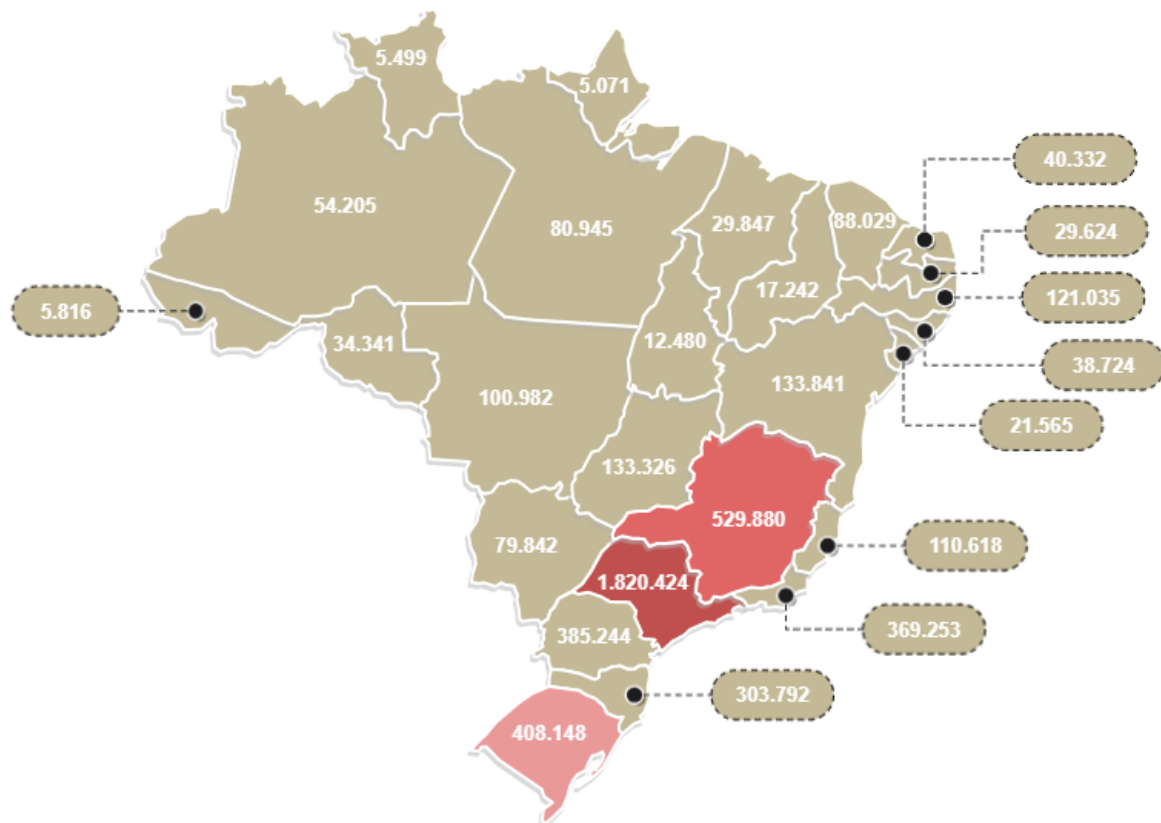
Acidente de trabalho pode ser entendido como aquele que ocorre durante o trabalho ou como consequência do mesmo, podendo apresentar lesão corporal ou até morte. Segundo Adas (2012), Ferro (2019) e Ramos (2019), os acidentes de trabalho podem ser classificados em 3 tipos:

- a) Acidente-tipo ou típico: aquele que ocorre devido à atividade exercida pelo trabalhador. Por exemplo, uma queimadura ocasionada por ácido sulfúrico ou até uma explosão no tanque de armazenamento.
- b) Acidente de trajeto: aquele que ocorre durante o percurso casa - trabalho, ou vice-versa. Um exemplo desse tipo é quando ocorre um acidente de carro devido ao cansaço após o fim do expediente.
- c) Doença de trabalho ou acidente atípico: ocorre devido a doenças atreladas a determinada atividade exercida. Problemas de pulmão devido à exposição à fuligem sem o uso de EPIs podem ser citados como exemplo.

Segundo dados disponíveis no Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, o Brasil registrou mais de 5,5 milhões de casos de acidentes de trabalho notificados durante os anos 2012 e 2020, os quais geraram quase 2 milhões de afastamentos e aproximadamente 20 mil mortes registradas. São Paulo foi o Estado com maior notificação de acidentes, seguido por Minas Gerais e Rio Grande do Sul, conforme indica a Figura 2.1. A fabricação do açúcar bruto está entre os 10 setores econômicos com o maior número de notificações de acidentes durante o período analisado, representando mais de 70 mil casos registrados, enquanto a fabricação de álcool somou quase 36 mil notificações e a produção de gás foi responsável por apenas 429 casos registrados. Contudo, estima-se que esse número seja ainda maior, uma vez que o estudo realizado por Adas (2012) relata que, entre os anos 2006 a 2009, 45,1% dos acidentes de uma usina sucroalcooleira localizada no interior do Estado de São Paulo não foram notificados perante a Previdência Social, fazendo com que os dados disponíveis não representem a realidade desse setor. Essa ausência de notificação é resultado da falta de conhecimento dos trabalhadores sobre o conceito de acidente de trabalho, uma vez que para eles, acidente de trabalho é aquele que não permite que o ambulatório médico da

indústria realize o atendimento, devido à gravidade do mesmo, sendo necessário um deslocamento para o hospital (Rumin e Schmidt, 2008).

Figura 2.1 - Distribuição geográfica de notificações de acidentes (2012-2020)



Fonte: Adaptado de Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Gonçalves Filho e Ramos (2015) afirmam que os acidentes de trabalho são um dos maiores problemas de saúde pública do mundo, pois causam prejuízo a toda cadeia envolvida, desde os trabalhadores, empresários e governo. O estudo realizado por Santana et al (2006) mostra que, em 2000, no Estado da Bahia, foram gastos quase 8,5 milhões de reais em benefícios concedidos para acidentes de trabalho, sendo que a compensação salarial representou 71,4% do total, resultado de um total de 500 mil dias de afastamento, com uma média de 113 dias por acidente.

Vale ressaltar que a priorização da saúde e segurança do trabalho é algo fundamental para a prevenção de acidentes, sendo assim, devem ser tratadas como prioridade nas organizações (FERRO, 2019; RAMOS, 2019).

Além dos prejuízos financeiros e na saúde dos trabalhadores, as empresas têm se preocupado com o *marketing* social, ou seja, nos últimos anos, elas buscam manter uma boa imagem perante a sociedade, principalmente em relação à saúde de seus trabalhadores, sendo esse um fator relevante para que políticas de prevenção de acidentes sejam implementadas (SCOPINHO, 2004). Além disso, os gastos com segurança devem ser vistos como um investimento na qualidade de vida do trabalhador, uma vez que isso é refletido na capacidade produtiva, além de evitar gastos com indenização e transtornos para a empresa (Silva et al, 2009).

As consequências dos acidentes de trabalho são incontáveis, reforçando a necessidade de evitá-los. Para isso, é importante entender as causas para que barreiras eficientes possam ser criadas. De acordo com Gonçalves Filho e Ramos (2015), as causas de acidentes são variáveis e é possível classificá-las de três formas:

- a) Centrada no indivíduo: quando a vítima ocasionou o acidente, geralmente são justificadas como “falta de atenção”, “falta de cuidado” ou até “falta de EPI”.
- b) Técnica: ocorre quando há falha no equipamento ou material, além de falhas de procedimento.
- c) Organizacional ou sistêmica: nesse caso, não houve gestão de segurança adequada, ou seja, ausência de manutenção e outros fatores organizacionais.

A falta de conscientização dos proprietários e trabalhadores em relação à segurança e saúde deles é o primeiro problema a ser sanado. Outro fator essencial é a aplicação de treinamentos contínuos como uma boa medida de prevenção de erros humanos, uma vez que pode ser vista como uma barreira eficiente (Santos et al, 2016).

O conceito de barreiras foi definido por Taylor e se refere a equipamentos, construções ou regras que impedem a ocorrência de um acidente, sendo possível classificá-las em físicas ou materiais, funcionais (ativas e dinâmicas) e simbólicos. O primeiro caso se refere a equipamentos como gaiolas e cercas, enquanto as barreiras funcionais estão relacionadas com dissipadores de energias como *airbags* e amortecedores ou tudo aquilo que impede a realização de certas ações como cadeado, enquanto as barreiras simbólicas estão sujeitas a interpretações para

alcançarem seus propósitos como é o caso de instruções e normas regulamentadoras (Almeida, 2008).

Além disso, Pientrageli e Lauri (2018) citam a importância da mitigação do evento, que tem como objetivo minimizar a quantidade de agentes perigosos, proteger os trabalhadores e minimizar, ao máximo, o tempo de exposição. De acordo com os autores, há oito passos essenciais para evitar um acidente, são eles:

1. Eliminar a maior quantidade de riscos possíveis;
2. Avaliar os riscos que não podem ser evitados;
3. Reduzir, ao máximo, os riscos na fonte;
4. Sempre priorizar as medidas de proteção coletiva em relação às individuais;
5. Adaptar o trabalho do indivíduo, especialmente em relação ao local de trabalho e escolha dos equipamentos mais adequados para a segurança dos mesmos;
6. Adaptar os métodos de trabalho visando o progresso técnico;
7. Desenvolver uma política de prevenção coerente e global;
8. Fornecer instruções adequadas aos funcionários.

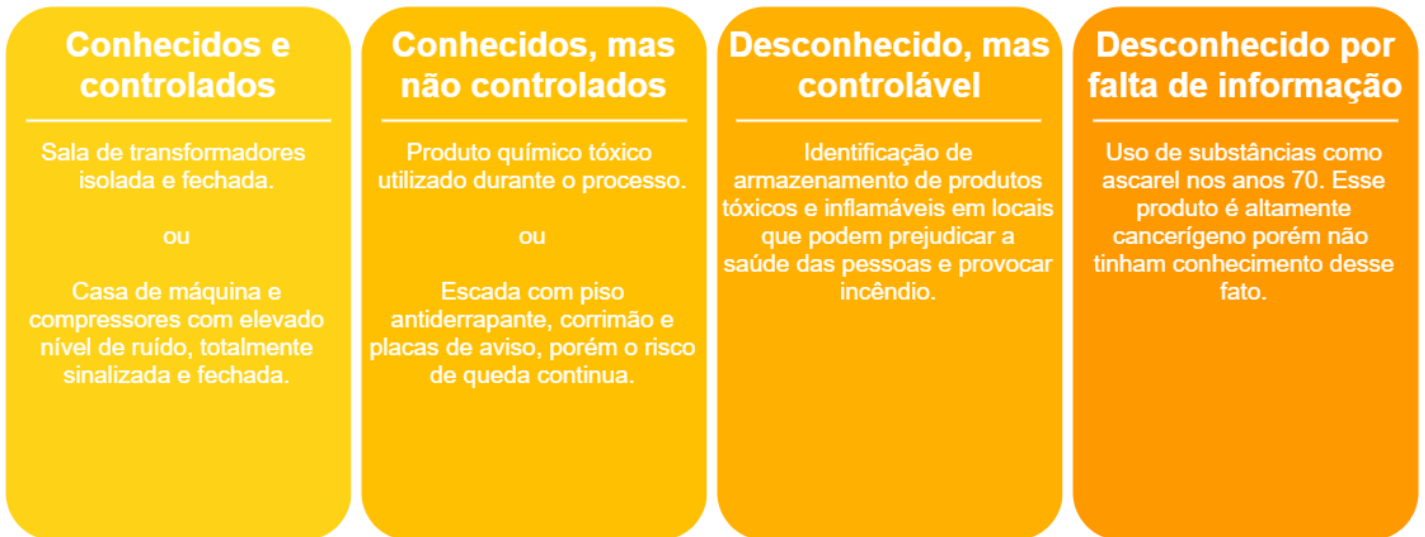
Para ter maior sucesso na prevenção de acidentes, é necessário entender os riscos ao qual a indústria está submetida, uma vez que a segurança do trabalho está intimamente relacionada à prevenção de riscos (Akutsu, 2017). O risco pode ser definido como uma ou condição de uma variável que pode causar danos como lesões a pessoas, perda de material, redução da capacidade de desempenho de função ou danos a equipamentos e estruturas, e pode ser classificado como: conhecido e devidamente controlado; conhecido, porém ainda não totalmente controlável; desconhecido, mas facilmente identificáveis através de metodologias já aplicadas na empresa, e totalmente desconhecido devido a falta de informação (Souza, 2021), a Figura 2.2 apresenta exemplos de cada situação.

Já Iwamoto et al (2008) classificam os riscos presentes em uma indústria em 5 categorias, são elas:

- a) Riscos biológicos: proveniente de exposição a seres que possam trazer algum malefício à saúde, como bactérias, vírus, fungos e protozoários.
- b) Riscos físicos: ruídos, vibrações, exposição a frio e calor, além de pressões anormais e umidade.
- c) Riscos químicos: exposição à substâncias químicas como gases, vapores, fumos e poeiras.

- d) Riscos ergonômicos: originado através de esforços físicos intensos, como levantamento de peso, além de postura inadequada e longas jornadas de trabalho.
- e) Riscos mecânicos: refere-se a acidentes como quedas e lesões provocadas por objetos durante o trabalho.

Figura 2.2 - Classificação de riscos industriais



Fonte: Adaptado de Souza (2021)

Para Scopinho (2004), excesso de ruído, insalubridade e periculosidade são fatores presentes no trabalho industrial, provocando desgaste e adoecimentos de trabalhadores. Bontempo et al (2016) ressaltam que a segurança em uma usina deve ser pensada desde a fase de planejamento, continuar através de toda a operação e seguir até a etapa de descomissionamento. Para os autores, uma usina de biogás inclui riscos em relação à ocorrência de incêndios e explosões, além de riscos elétricos, mecânicos e do próprio gás. O risco de explosões e incêndios também é citado por Barroso e Brondani (2018) e Costa e Júnior (2017).

2.2 NORMAS DE SEGURANÇA

A prevenção de acidentes e a garantia da segurança dos processos industriais deve ser um trabalho em conjunto de toda a sociedade, desde os trabalhadores até o governo. Dessa forma, torna-se obrigação de todos garantir que

o local de trabalho seja um lugar seguro. Sendo assim, o governo possui regras pré-estabelecidas para que o número de acidentes seja cada vez menor, essas regras são conhecidas como normas regulamentadoras.

O Brasil possui 37 normas regulamentadoras (NR) que asseguram que a segurança e saúde no trabalho sejam garantidos a toda população. Criadas em 8 de junho de 1978, as primeiras normas regulamentadoras asseguravam a prevenção de acidentes de trabalhadores em serviços laborais e alguns segmentos econômicos específicos, e desde então, vêm sendo elaboradas e revisadas através da Comissão Tripartite Paritária Permanente (CTPP). Atualmente, tais normas estão disponíveis na página da Secretaria do Trabalho e são apresentadas na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Normas Regulamentadoras

Normas Regulamentadoras	Itens abordados
NR 01	Disposições Gerais
NR 02	Inspeção Prévia
NR 03	Embargo ou Interdição
NR 04	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
NR 05	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
NR 06	Equipamentos de Proteção Individual – EPI
NR 07	Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO
NR 08	Edificações
NR 09	Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos
NR 10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NR 11	Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais
NR 12	Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos
NR 13	Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações.
NR 14	Fornos
NR 15	Atividades e Operações Insalubres
NR 16	Atividades e Operações Perigosas

NR 17	Ergonomia
NR 18	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
NR 19	Explosivos
NR 20	Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis
NR 21	Trabalho a céu aberto
NR 22	Segurança e saúde ocupacional na mineração
NR 23	Proteção contra incêndios
NR 24	Condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho
NR 25	Resíduos industriais
NR 26	Sinalização de segurança
NR 27	Registro profissional do técnico de segurança do trabalho
NR 28	Fiscalização e penalidades
NR 29	Segurança e saúde no trabalho portuário
NR 30	Segurança e saúde no trabalho aquaviário
NR 31	Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, exploração florestal e aquicultura
NR 32	Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde
NR 33	Segurança e saúde no trabalho em espaços confinados
NR 34	Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção e reparação naval
NR 35	Trabalho em altura
NR 36	Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados
NR 37	Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo

Devido à complexidade da indústria sucroalcooleira tradicional e biorrefinarias, é possível afirmar que a grande maioria das normas regulamentadoras se aplica a esses setores (Ramos, 2019). Para o presente estudo, cabe destacar as normas NR 06 (Equipamentos de Proteção Individual – EPI), NR 11 (Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais), NR 12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos), NR 13 (Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações), NR 15 (Atividades e Operações Insalubres), NR

20 (Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis), NR 23 (Proteção contra incêndios) e a NR 31 (Segurança e saúde no trabalho na agricultura, pecuária silvicultura, exploração florestal e aquicultura).

A norma regulamentadora número 06 se refere aos equipamentos de proteção individuais, também conhecidos como EPIs. De acordo com o artigo 157 da Consolidação das Leis do Trabalho, é obrigação do empregador fornecer os EPIs em boas condições de uso aos funcionários e orientá-los sobre a utilização dos mesmos, porém, estudos indicam que muitas vezes essa norma não é cumprida, seja por falta de orientação ou equipamentos inadequados, como é relatado por Rumin e Schmidt (2008) ao citar que “os protetores auriculares oferecidos como EPI causavam irritação no pavilhão auditivo, algumas vezes, ocasionando pequenas lesões”. Cabe ressaltar que esses equipamentos precisam ser higienizados, lavados e restaurados com frequência ou sempre que necessário, além disso, devem proteger todas as áreas expostas a riscos como a cabeça, olhos e face, tronco, membros superiores e inferiores, além da proteção auditiva e respiratória.

Além de olhar para cada trabalhador individualmente, é necessário garantir a segurança coletiva da empresa, ou seja, proteger os trabalhadores através de máquinas e equipamentos, tema abordado pela NR 12. De acordo com essa norma, a usina deve possuir demarcação de área de circulação e dispositivos de partida e parada devidamente localizados, a fim de impossibilitar seu acionamento por acidente ou involuntariamente. Contudo, vale reforçar que treinamentos e instruções adequadas sobre a operação de máquinas e equipamentos é imprescindível para a prevenção de acidentes (Pientrageli e Lauri, 2018).

Por se tratar de uma indústria química e de transformação, é importante estar atento à norma regulamentadora 11, que está relacionada ao transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais. É necessário estar atento ao risco de desmoronamento devido a empilhamento inadequado, riscos de quedas e de acidentes durante o transporte dos materiais tanto na indústria sucroalcooleira tradicional, quanto em biorrefinarias. Além disso, é necessário que haja inspeção de cabos e correntes com frequência, além de avisos de carga máxima permitida. Em adição à NR 26, é necessário que os materiais químicos possuam o Diamante de Hommel ilustrado em suas embalagens.

O Diamante de Hommel é uma simbologia bastante aplicada no que diz respeito às normas de armazenamento de produtos químicos e, apesar de não

informar qual é a substância química, indica o grau de riscos do produto em relação a inflamabilidade, representada pela cor vermelha, perigo para a saúde, em azul, reatividade, indicada pela cor amarela, e, por fim, branca se refere à riscos especiais. Na Figura 2.3 é possível visualizá-lo com mais detalhes.

Figura 2.3 - Diamante de Hommel



Fonte: Promtec (2021)

Como mencionado, um dos riscos apresentados no diamante de Hommel é a inflamabilidade, que pode variar entre 0 a 4, de acordo com a temperatura do produto analisado. O risco de incêndio é bastante comum em usinas sucroalcooleiras e biorrefinarias, uma vez que há produção de biocombustíveis. Para evitá-los, foi criada a NR 20, que está relacionada à Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis. Segundo essa norma, é necessário que haja revisão dos procedimentos operacionais a cada 5 anos em usinas de álcool, além da presença de extintores por toda a instalação e treinamentos contra incêndios, tais medidas são extremamente importantes quando acidentes como o incêndio em uma usina de açúcar e álcool em Sebastianópolis do Sul (SP) ocorrem.

Em caso de incêndios, é necessário mais do que medidas de prevenção, necessita-se de medidas de proteção contra incêndios que são garantidas pela norma regulamentadora número 23. Tal norma determina que as indústrias estabeleçam procedimentos de evacuação em caso de incêndios, além de dispositivos de alarme, saídas de emergência bem localizadas e sinalizadas e em

número suficiente. Cabe ressaltar que as saídas não podem estar obstruídas nem trancadas com chaves.

Além de todos esses fatores, as usinas estudadas possuem caldeiras, vasos de pressão e tubulações, o que faz com que a NR 13 seja uma norma extremamente importante quando se busca prevenir acidentes nesses setores. As seções 2.3.1 e 2.4.1 mostrarão um pouco mais sobre os equipamentos presentes nas instalações químicas. Autores como Adas (2012), Barroso e Brondani (2018), Chale (2013) e Rumin e Silva (2016) apontam a caldeiraria como um dos setores mais perigosos de uma usina tradicional de produção de açúcar e álcool. Diante disso, a norma em questão define uma série de medidas para tornar esses equipamentos seguros para os trabalhadores, como a presença de válvulas de segurança, controle do nível de água, sistema de captação de gases, instrumento que mostre de forma clara a pressão interna do equipamento, entre outras. Todas essas ações têm como objetivo evitar que incêndios e explosões ocorram.

Outro item que também merece atenção é o próprio ambiente da usina. Segundo a NR 15, a insalubridade está diretamente ligada aos riscos físicos ao qual o corpo está submetido, como ruído, calor e vibração. A exposição ao ruído fora dos limites de tolerância é um dos fatores mais comuns de risco ocupacional, e pode ter como consequência a perda auditiva. Além disso, outros efeitos vêm sendo estudados, como a possibilidade de se causar doenças cardiovasculares, entre elas, a hipertensão arterial, uma vez que podem desencadear aumento da pressão sanguínea, semelhante ao que ocorre no estresse agudo (Souza et al, 2001). Já a vibração gera tanto desconforto aos trabalhadores como problemas de visão, irritabilidade, deformações lombares e até problemas digestivos, portanto, devem ser reduzidas tanto quanto possível (Cunha et al, 2009).

Também é necessário se atentar à segurança dos trabalhadores durante o corte da cana-de-açúcar, representada pela norma regulamentadora número 31, uma vez que os trabalhadores são expostos a riscos que podem ocasionar problemas respiratórios, renais, cardiovasculares, oculares e dermatológicos, uma vez que os trabalhadores estavam expostos a sobrecarga física, mental e térmica, além de exposição a poluentes (Leite et al, 2018) Segundo a norma, é necessário que haja condições adequadas de higiene e conforto, além de possuir materiais para primeiros socorros disponíveis e ferramentas adequadas para o trabalho.

Também é necessário que haja transporte regulamentado e locais para refeição em boas condições de higiene e conforto.

Além das normas regulamentadoras citadas anteriormente, o Fundacentro (Fundação Jorge Duprat e Figueiredo) estabeleceu as 11 Normas de Higiene Ocupacional (NHOs), são elas:

- NHO 01: Procedimento técnico – avaliação da exposição ocupacional ao ruído;
- NHO 02: Método de Ensaio - análise qualitativa da fração volátil (vapores orgânicos) em colas, tintas e vernizes por cromatografia gasosa / detector de ionização de chama;
- NHO 03: Método de ensaio: análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros e membrana.
- NHO 04: Método de ensaio: método de coleta e a análise de fibras em locais de trabalho.
- NHO 05: Procedimento técnico – avaliação da exposição ocupacional aos raios X nos serviços de radiologia.
- NHO 06: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor
- NHO 07 Calibração de bombas de amostragem individual pelo método da bolha de sabão.
- NHO 08: Coleta de material particulado sólido suspenso no ar de ambientes de trabalho.
- NHO 09: Procedimento técnico – avaliação da exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro.
- NHO 10: Procedimento técnico – avaliação da exposição ocupacional a vibração em mãos e braços.
- NHO 11: Avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho

2.3 INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

2.3.1 Indústria sucroalcooleira no Brasil

Atualmente, o Brasil é o líder mundial em relação à produção de açúcar a partir da cana-de-açúcar, chegando a 38.465 mil toneladas de açúcar produzido durante a safra 2020/2021, representando um crescimento de 43,73% em relação à safra anterior (Nova Cana, 2021). A mesma matéria-prima também é utilizada na produção de etanol, o que fez tornar o Brasil referência em sustentabilidade, uma vez que o etanol produzido no país possui a menor quantidade de carbono equivalente emitida na atmosfera, se comparado a outros países ao redor do mundo.

A relação do Brasil com esse setor teve início no século XVI, quando a cana-de-açúcar começou a ser produzida no país. O país se mostrou um ótimo lugar para sua produção, devido a fatores como solos férteis, clima tropical, relevos planos e água em abundância (Rodrigues e Ross, 2020). No século seguinte, o açúcar já tinha alta importância na economia brasileira (Chale, 2013). Foi nesse período que aconteceu o chamado Ciclo do Açúcar, também conhecido como o Ciclo da Cana-de-Açúcar, período em que o açúcar se tornou a base da economia brasileira e teve duração até o século XVIII, quando a soberania brasileira começou a diminuir.

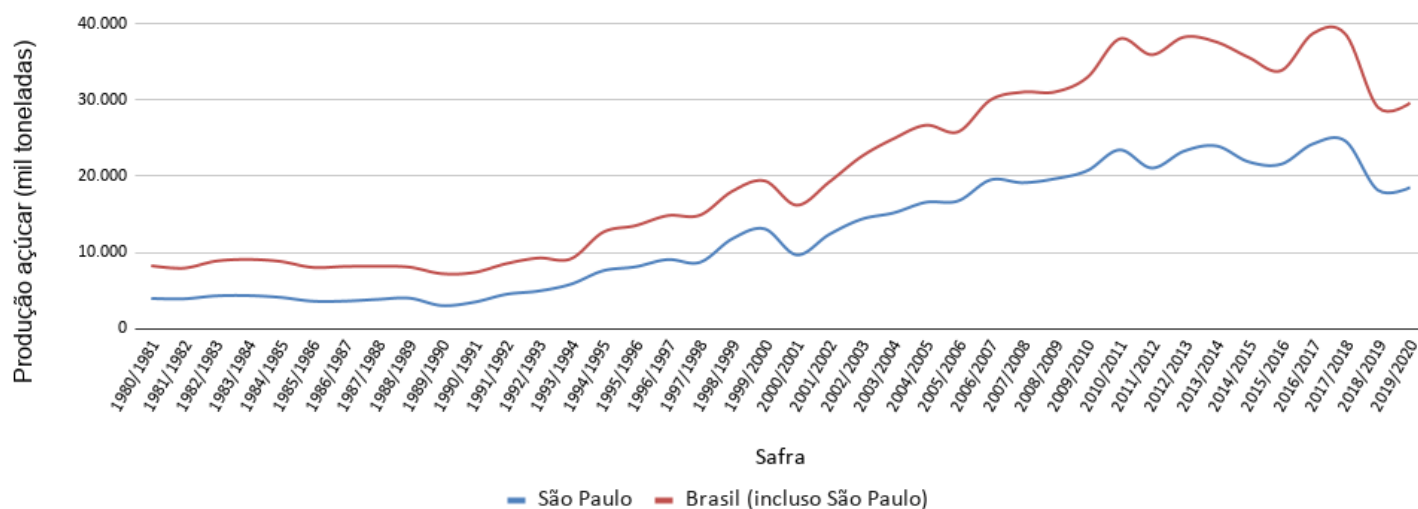
Durante o século XIX, começaram a aparecer as crises do mercado, até então dominado mundialmente pelo Brasil. Nesse período, a participação relativa do produto brasileiro no comércio internacional começou a sofrer declínio, uma vez que o país precisou competir com as Antilhas, já que a região começou a mecanização de seus processos de produção. Além disso, foi nesse século que a produção de açúcar a partir da beterraba se iniciou na Europa (Chequin e Grandi, 2016).

E então, o mundo foi marcado pela Primeira Guerra Mundial. Em relação ao mercado brasileiro de produção de açúcar, esse período contribuiu para a expansão industrial das usinas de cana-de-açúcar, principalmente em decorrência da queda na produção de açúcar de beterraba, significando, assim, o aumento do preço do açúcar. Devido a alta importância do açúcar na economia brasileira, o governo criou algumas diretrizes relacionadas ao produto. Entre elas, está a determinação da mistura de 5% de álcool na gasolina em 1931, fazendo com que a demanda interna do produto aumentasse. Além disso, em 1933, foi criado o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), que determinava valores específicos da cota de produção de cada estado e usina, regulando, assim, o mercado açucareiro e o fomento da produção de álcool anidro (Rodrigues e Ross, 2020).

Novamente, outra grande guerra aconteceu, a chamada Segunda Guerra Mundial. Nesse período houve uma dificuldade em se importar petróleo, fazendo com que a demanda interna de etanol aumentasse consideravelmente, o que acabou provocando a expansão da indústria canavieira, principalmente no Estado de São Paulo, tornando-o o maior produtor de açúcar do país (Chale, 2013), posição ocupada até os dias atuais. A Figura 2.4 apresenta a produção de açúcar do estado de São Paulo e do Brasil (inclusive São Paulo) desde a safra de 1980/1981, e é possível observar que a linha vermelha (produção de açúcar no Brasil) não está

muito distante da linha azul (referente a produção de açúcar apenas no Estado de São Paulo), indicando a alta representatividade do Estado.

Figura 2.4 - Produção de açúcar em São Paulo e no Brasil



Fonte: Adaptado de UNICA, ALCOPAR, BIOSUL, SIAMIG, SINDALCOOL, SIFAEG, SINDAAF, SUDES e MAPA (Acesso em 13/05/2021)

Não é possível falar da indústria do etanol sem citar a crise do petróleo nos anos 70. Essa crise ocasionou o aumento do preço do petróleo, além da possibilidade de esgotamento do recurso (Ramos, 2019). Do ponto de vista de desenvolvimento da indústria de etanol, os resultados foram positivos, uma vez que houve a substituição de veículos de gasolina por álcool, aumentando a demanda interna e ocasionando a criação do Proálcool em 1975, programa do governo que tinha como objetivo aumentar a produção de etanol (Chale, 2013). Além disso, esse período foi marcado pela modernização das indústrias, surgimentos de novos financiamentos e aumento tecnológico do setor.

Os anos 90 foram marcados pela abolição do IAA, o que fez com que a produção brasileira fosse mais competitiva no mercado mundial. Essa década também foi marcada por novas tecnologias para o aumento da produtividade e diminuição do custo de produção dos dois produtos, além disso, os olhos do mercado começaram a se voltar para o aproveitamento de resíduos, como a vinhaça, a torta de filtro e o bagaço da cana-de-açúcar (Rodrigue e Ross, 2020).

Os anos seguintes foram marcados por fusões e internacionalização do setor através de alianças e investimentos internacionais, fato que se mantém até os dias atuais (Rodrigue e Ross, 2020).

2.3.2. Processo industrial sucroalcooleiro

A grande representatividade brasileira em relação a esses dois produtos, faz com que o país tenha desenvolvido tecnologias que permitisse a produção simultânea desses compostos. Segundo a Nova Cana, em maio de 2021, existiam 418 usinas de açúcar e etanol presentes no Brasil, destas apenas 150 produziam açúcar enquanto 100% produziam etanol.

O processo de produção de açúcar e álcool pode ser dividido em 4 grandes etapas indicadas na Figura 2.5, sendo cinza para a etapa de extração do caldo, azul para a etapa de tratamento do caldo, verde para fabricação do açúcar e amarelo para a destilação do etanol.

Na etapa de extração do caldo é realizada a lavagem da cana (essa etapa é realizada apenas se a cana foi queimada durante a colheita, em caso de colheita mecanizada, a cana não é submetida a essa etapa), retirando assim a maior parte da sujeira, em seguida, a cana é nivelada e picada para facilitar a extração da sacarose, e só então segue para a moenda. Para que a extração da sacarose tenha mais eficiência, é adicionado água ou caldo ao processo, chamado de embebição, e então, é obtido o caldo da cana rico em sacarose e o bagacilho, ou bagaço de cana-de-açúcar, que pode ser queimado nas caldeiras e utilizado como fonte de energia e vapor em outras etapas da usina, indicado pela cor roxa. Vale ressaltar que geralmente os equipamentos dessa etapa são acionados por turbina a vapor, que convertem energia térmica, contida no fluxo de vapor, em energia mecânica, disponível nos eixos das turbinas (Andrade e Diniz, 2007). Após a etapa de moagem, é possível observar a primeira bifurcação do processo, na qual parte do caldo é direcionada para a fabricação de açúcar e parte é selecionada para a destilaria de álcool. Sendo assim, seguindo para a produção de açúcar, o caldo extraído é tratado na etapa seguinte, representada pela cor azul.

O tratamento do caldo consiste em desarenação, peneiramento, sulfitação, adição de ácido fosfórico e calagem (Andrade e Diniz, 2007). Além disso, o produto passa por um breve aquecimento e, então, é direcionado aos decantadores para que seja possível a separação entre o caldo clarificado e a lodo. O caldo clarificado

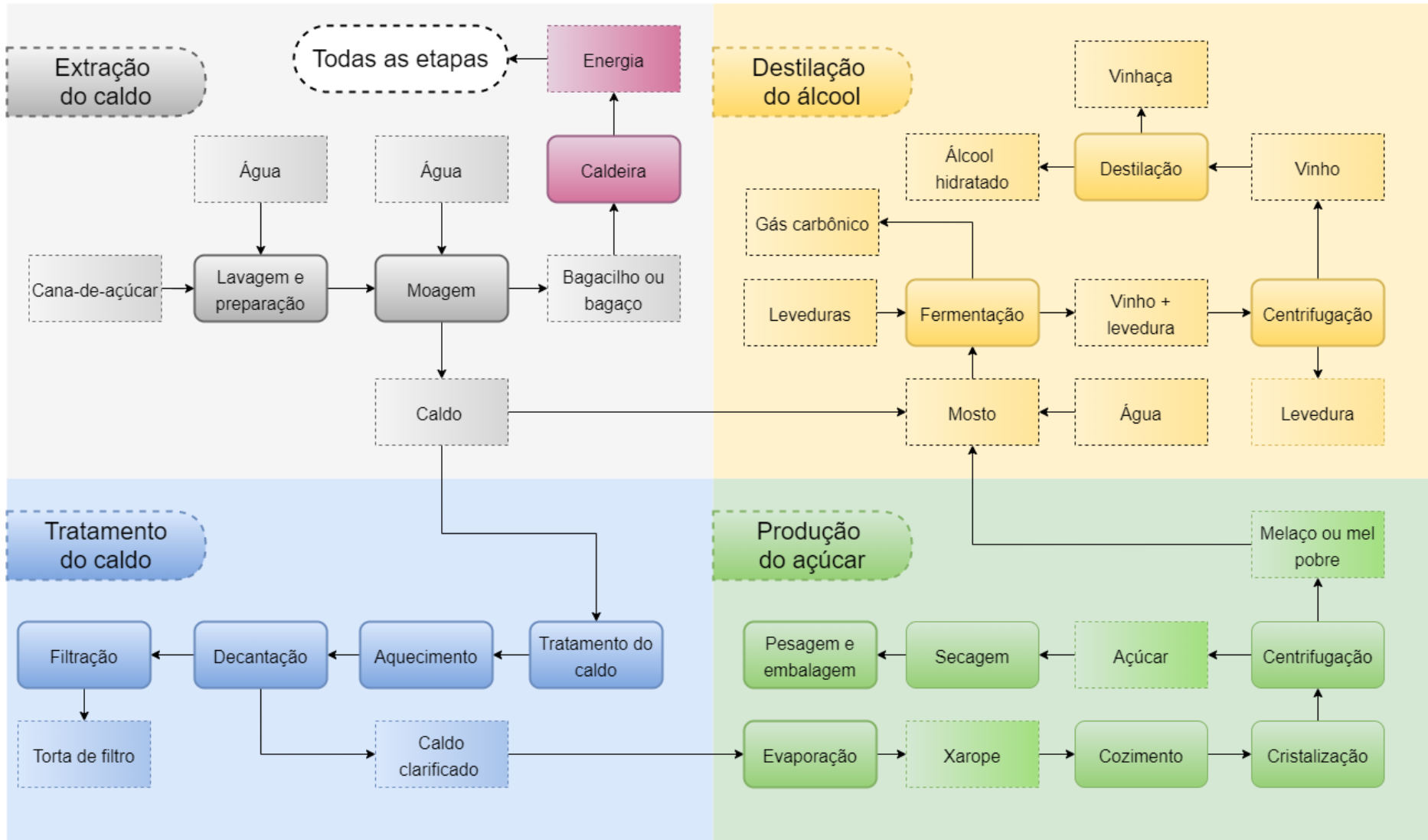
segue no processo de produção de açúcar enquanto o lodo é direcionado para a etapa de filtração, formando assim a torta de filtro. Segundo Andrade e Diniz (2007), são gerados 25 kg de torta para cada tonelada de cana moída que podem ser usados como adubo nas próprias lavouras.

Na etapa de produção de açúcar, o caldo clarificado é concentrado através de evaporadores de múltiplos efeitos e então passa a ser chamado de xarope e, só então, o produto passa pela etapa de cozimento. Depois dessa etapa, é possível realizar a cristalização e a centrifugação do açúcar, que resulta em 2 produtos: o açúcar e o melaço, também conhecido como mel pobre. O açúcar é secado, embalado e pesado, enquanto o melaço segue para a etapa de destilação.

Na Figura 2.5, a produção do álcool é representada pela cor amarela. Primeiramente, há a preparação do mosto, uma mistura de caldo separado após a moenda, mel proveniente da produção de açúcar e água. Então, leveduras são adicionadas ao mosto para que ocorra a fermentação que dará origem ao vinho, seguida pela centrifugação, etapa necessária para que ocorra a separação da levedura e do vinho, e em sequência, ocorre a destilação. A etapa de destilação produz tanto álcool hidratado quanto vinhaça. Caso necessário, o álcool produzido poderá ser desidratado, se transformando em álcool anidro.

A vinhaça resultante da destilação é um resíduo líquido obtido em temperaturas elevadas e pH ácido, característica que faz com que o resíduo seja utilizado como fertilizante, uma vez que possui muitos nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Albanez, 2015). Estima-se que 1 litro de álcool produz até 11,9 litros de vinhaça (Andrade e Diniz, 2007). Segundo Albanez (2015), a vinhaça também vem sendo usada como biomassa para a produção de biogás que pode ser usado na geração de energia através de reatores de alta performance conhecidos como UASB, que tem como principais vantagens baixo consumo de energia elétrica, pouca produção de lodo e baixo potencial poluente.

Figura 2.5 - Fluxograma de uma usina sucroalcooleira

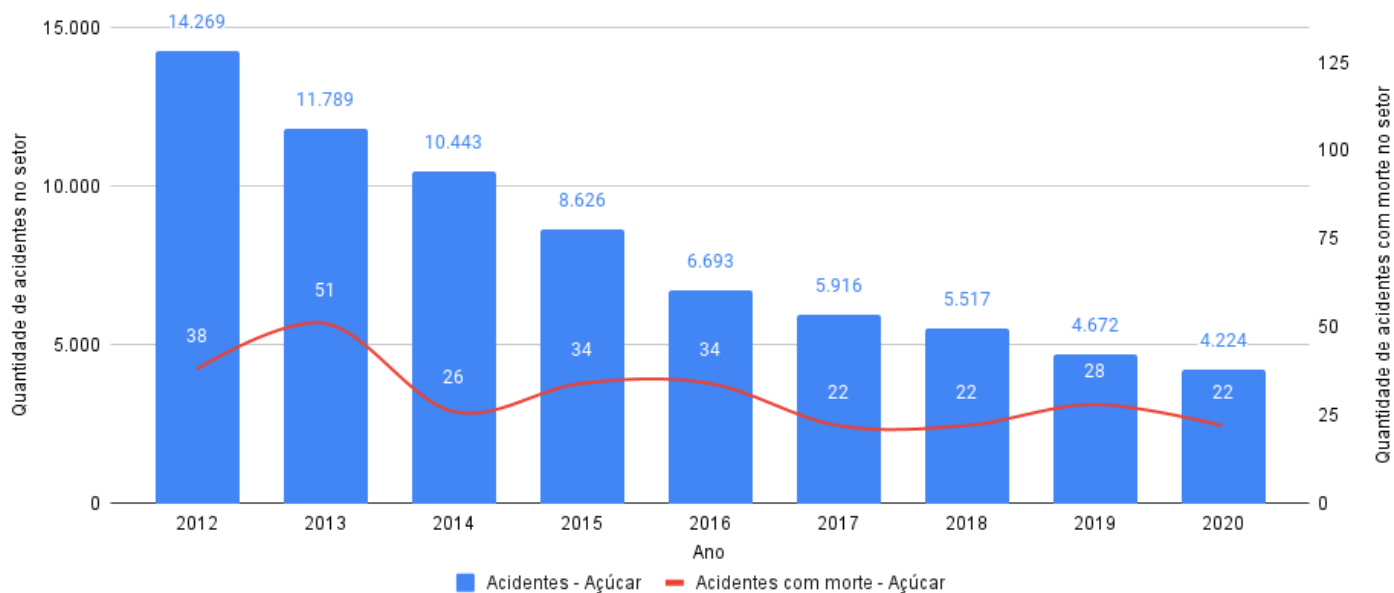


Fonte: Adaptado de MWS - CANA (2021)

2.3.3 A segurança do trabalho no setor sucroalcooleiro

O crescimento do setor sucroalcooleiro nos últimos tempos foi acompanhado pelo aumento da mecanização, fato que fez com que houvesse uma redução no número de acidentes, passando de 14.269 casos na fabricação de açúcar em 2012 para 4.224 em 2020, já o setor de produção de álcool, passou de 5.970 para 2.360 durante o mesmo período, como indicado nas Figuras 2.6 e 2.7, respectivamente, contudo, quando estes ocorrem, tendem a ser ainda tão ou mais graves, não havendo redução considerável no número de acidentes com morte (Adas, 2012; Rumin e Schmidt, 2008). No entanto, essa indústria ainda tem muito o que melhorar em relação a segurança e saúde dos trabalhadores, sendo necessário treinamentos contínuos, fiscalização do cumprimento das normas regulamentadoras, incentivo ao uso de equipamentos de proteção individual e garantia de que todos os procedimentos estejam sendo tomados de forma correta (Ramos, 2019).

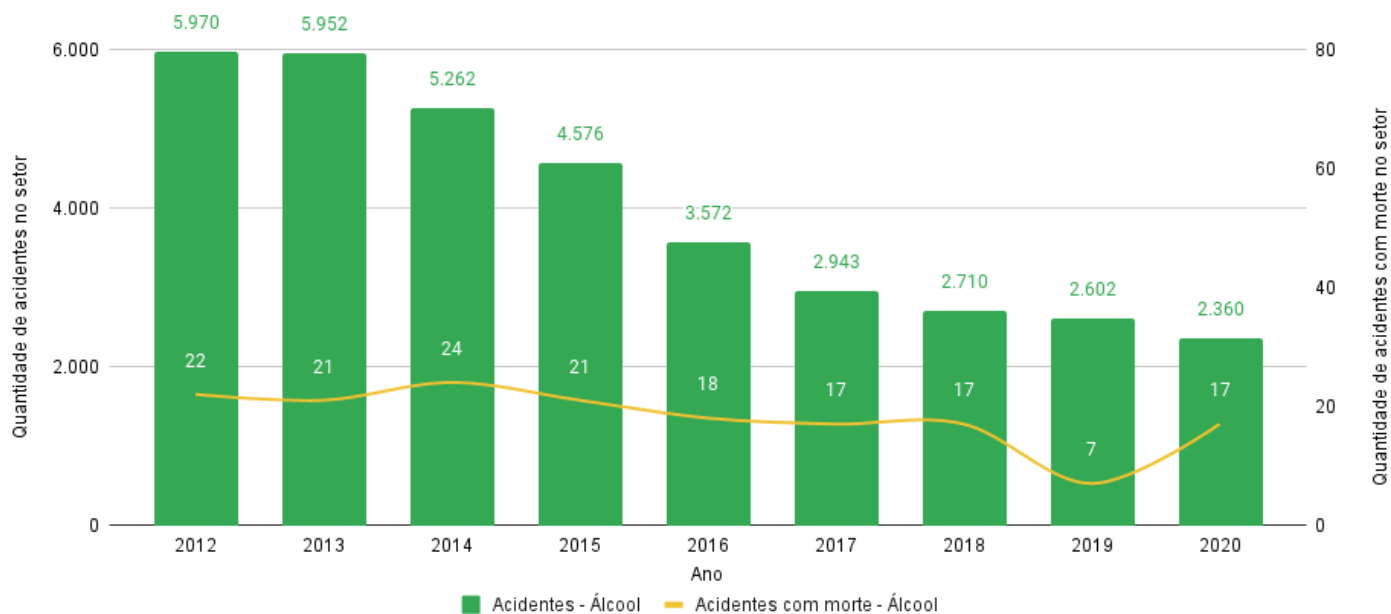
Figura 2.6 - Histórico de acidentes na fabricação de açúcar (2012-2020)



Fonte: Adaptado de Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

A segurança industrial é um tema com muita relevância, e para isso, é recomendado que haja análise dos acidentes que já ocorreram, para que assim, seja possível prever e planejar ações emergenciais, garantido ao máximo a segurança dos trabalhadores durante a fase produtiva e de manutenção (Silva et al, 2009).

Figura 2.7 - Histórico de acidentes na fabricação de álcool (2012-2020)



Fonte: Adaptado de Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Dados coletados entre os anos 2006 e 2009, em uma usina sucroalcooleira na Região da Nova Alta Paulista, no Estado de São Paulo, mostraram que, dos 257 acidentes de trabalhos identificados, apenas 54,9% foram notificados perante a Previdência Social, indicando que muitos dados apresentados em portais oficiais não representam a realidade como um todo. Foi possível obter, por meio do InfoLogo AEAT - Banco de dados históricos de acidentes de trabalho, a classificação dos tipos de acidentes da produção de açúcar e álcool, em acidentes típicos, acidentes de trajeto e doenças de trabalho, além disso, diferenciou-se os registros de acordo com a presença ou não de CAT (Comunicação de Acidente de Trabalho). É possível observar que, em ambos os casos, os acidentes típicos são os mais frequentes, porém, na fabricação de açúcar e álcool há uma grande quantidade de notificações não comunicadas, representando aproximadamente 10% em ambos os casos, conforme apresenta a Tabela 2.2 e reportado por Adas (2012). Além disso, quando notificadas, as práticas são descritas como falhas humanas, atribuindo assim a culpa do acidente à vítima, fazendo com que a prevenção se torne algo pessoal e não conjunta (Adas, 2012).

Tabela 2.2 - Classificação de acidentes na produção de açúcar e álcool (2006-2018)

	Fabricação de açúcar	Fabricação de álcool
Acidentes típicos com CAT	147.842 (85,06%)	58.988 (85,12%)
Acidentes de trajeto com CAT	7.203 (4,14%)	3.165 (4,57%)
Doença de trabalho com CAT	652 (0,38%)	280 (0,40%)
Sem CAT	18.113 (10,42%)	6.868 (9,91%)
Total	173.810	69.301

Fonte: InfoLogo AEAT (2021)

A prevenção de acidentes não está limitada apenas a grandes empresas, sendo necessário que todos os setores empregatícios tenham medidas que garantam a segurança daqueles que ali trabalham. Um estudo realizado em uma microdestilaria no Rio Grande do Sul apontou que acidentes severos podem ocorrer mesmo em processos de pequena escala, sendo identificados riscos leves, médios e graves em todos os setores analisados (Barroso e Brondani, 2018). Outro estudo realizado por Ramos (2019), no interior de Goiás, mostra que os riscos desse setor não são limitados a apenas uma região, uma vez que, em um período de 6 anos, foram observados aproximadamente 25 mil acidentes em uma indústria de produção de açúcar e álcool, sendo a maioria classificados como acidentes típicos, ou seja, ocorreram no local de trabalho devido a atividade exercida pelo trabalhador. O autor ainda reforça que é necessário que as empresas possuam uma **cultura de segurança**, atuando de forma preventiva através do monitoramento e gerenciamento dos riscos.

A cultura de segurança está relacionada a um conjunto de valores e comportamentos que determinam a forma como a segurança de processos será gerenciada (Jones, 2001). Sua consolidação é extremamente importante, uma vez que ela influenciará o comportamento de cada indivíduo da organização, fazendo com que todos tenham o conhecimento da importância de se seguir determinados procedimentos de segurança (CCPS, 2007).

Através dos dados disponíveis no Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho é possível concluir que a redução de 1/3 na incidência total de acidentes de trabalho na indústria de cana-de-açúcar, durante o período 2009-2015, foi

resultado dos casos de subnotificação relatada por Adas (2012), uma vez que também foi observado um aumento nas taxas de necessidade de assistência médica reabilitadora, bem como o crescimento da taxa de incapacidade permanente e de casos fatais registrados. Em valores numéricos, tomando como base a cada 100 mil trabalhadores, houve um salto de 68,4 casos de assistências médicas reabilitadoras em 2009 para 267,8 em 2015, ou seja, um aumento de quase 3 vezes mais. Já a taxa de incapacidade representou um aumento de 153% durante o mesmo período, enquanto a morte no trabalho saltou de 2,38 óbitos em 2009 para 4,74 óbitos em 2015, indicando que apesar das empresas estarem sempre buscando novas tecnologias para seus processos, isso não é refletido quando o assunto é segurança no ambiente de trabalho (Rumin e Silva, 2016).

Em relação à indústria sucroalcooleira, pode-se dizer que o risco de graves acidentes e até morte é alto, uma vez que é composta por diversos equipamentos que podem causar sérios ferimentos. Como exemplo, tem-se o secador utilizado no processo para a secagem do açúcar, geralmente constituído por um cilindro rotativo e chapas em forma de pás em seu interior. Esse equipamento pode ser caracterizado como espaço confinado, dificultando assim sua manutenção. Durante a manutenção desse equipamento os trabalhadores estão submetidos a riscos de queimadura e até explosão, uma vez que o açúcar pode apresentar uma umidade muito baixa, formando assim, um pó seco altamente inflamável. É imprescindível a presença de sinalização de perigo no local para que os funcionários tenham ciência do risco ao qual estão sendo submetidos durante o processo, além disso, é necessário que, na entrada, haja um controle das pessoas autorizadas a fazerem tal procedimento, impedindo, assim, que pessoas sem treinamento e conhecimento adentrem no local. Outro ponto que também merece atenção é a válvula de liberação de vapor, que deverá ter um bloqueio impedindo que seja aberta acidentalmente (Costa e Júnior, 2017).

Outros equipamentos bastante importantes em sucroalcooleiras são as caldeiras, vasos de pressão e tubulações, que possuem uma norma regulamentadora dedicada somente a eles, a NR 13. Porém, mais do que leis, é necessário que haja elaboração e aplicação de planos de gerenciamento de riscos, além de comprometimento de colaboradores, gerência e diretoria, evitando assim multas, processos judiciais e, ainda mais importante, acidentes de trabalho

relacionados a esses equipamentos. É necessário, também, verificações diárias em relação a operação dos mesmos, tornando necessário um plano de adequação com periodicidade diária, semanal, mensal, semestral e anual, que vai desde a limpeza dos visores e indicadores em geral até a verificação e manutenção de todos os instrumentos de controle (Silva, 2015).

A necessidade de se adequar máquinas e equipamentos às normas regulamentadoras e de segurança devem ser uma preocupação não apenas na fase de projeto, mas também durante toda a operação da usina. Muitas vezes os responsáveis direcionam sua atenção apenas para casos de acidentes muito graves, deixando de lado manutenções do dia a dia que acabam resultando em um alto índice de acidentes, como proteção contra calor desgastada em encanamentos que podem ocasionar queimaduras graves (Terezan, 2015).

Diversos fatores podem estar relacionados à ocorrência de acidentes de trabalho na produção de açúcar e álcool, entre eles pode-se citar a idade e o setor. O estudo realizado em uma empresa localizada no interior de São Paulo apontou que o setor industrial representava 64% dos acidentes, além disso, a faixa etária de 30 a 39 anos concentra 45% dos acidentes registrados. A proximidade do trabalhador a riscos durante a manutenção de equipamentos foi responsável pelo alto índice de acidentes no setor industrial. As práticas de desvios de comportamento seguro dos trabalhadores foram apontadas como importante variável na ocorrência de acidentes graves, sendo necessários treinamentos para que esses desvios sejam reduzidos ou até eliminados (Silva, 2018).

A ausência de treinamentos técnicos em uma indústria sucroalcooleira localizada em São Paulo teve como consequência 36 acidentes registrados em um período de 7 meses apenas no setor de produção de açúcar. Além disso, foi relatado a disponibilização de equipamentos de proteção individuais inadequados, fazendo com que os trabalhadores tenham dificuldade em utilizá-los. Foi relatado que trabalhadores necessitam de força musculares excessivas devido a necessidades de acionamento mecânico dos equipamentos industriais e indicaram a presença de riscos físicos, químicos e biológicos no local (Rumin e Schmidt, 2008).

Por se tratar de uma indústria de transformação, é necessário que os riscos físicos sejam constantemente analisados de modo que se adequam às normas de segurança relacionadas a cada item, como é o exemplo da NR 15 que diz respeito

às condições de insalubridade. Dessa forma, torna-se necessário observar as condições às quais os trabalhadores estão submetidos. Um estudo realizado por Silva e Amorim (2015) analisou as condições de segurança e conforto dos trabalhadores de uma usina sucroalcooleira no estado de Goiás e foi observado que, em relação ao ruído, as condições encontradas estavam acima do limite de tolerância para grande parte do setor de tratamento do caldo, já em relação ao calor, apenas a sala de operação possuía valores acima do limite recomendado pela norma regulamentadora. Além dos riscos físicos, os trabalhadores de uma usina de açúcar e álcool também estão expostos a riscos químicos acima do moderado, reforçando a necessidade da instalação de sistema de exaustão e utilização de equipamentos de proteção individual (Mitsui et al, 2010). Diante disso, fica claro que não basta as normas existirem, é preciso que todos tenham conhecimento sobre elas, além de ser necessário que os órgãos responsáveis fiscalizem o cumprimento das mesmas.

Através dos dados disponíveis no Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, foi possível analisar as principais lesões e grupos de agentes causadores de acidentes na produção de açúcar e álcool, os dados obtidos se referem aos anos 2012 a 2020 e são apresentados na Tabela 2.3. É possível observar que, tanto a fabricação de açúcar quanto a fabricação de álcool possuem lesões predominantes similares, além disso, em ambos os casos, a lesão mais frequente (corte, laceração, ferida contusa e punctura) apresenta o dobro de ocorrência em relação ao segundo lugar (contusão, esmagamento - superfície cutânea I), destacado na Figura 2.8. Em relação aos grupos de agentes causadores, os setores também possuem comportamentos semelhantes, porém, o primeiro possui maior índice de acidentes causados por agente biológico, sendo o terceiro mais comum do setor, enquanto a produção de álcool apresenta mais acidentes causados por agentes químicos, como indica a Figura 2.9.

Alguns acidentes também ocorrem devido à falta de habilidade de profissionais para o diagnóstico de riscos aos quais ele e seus colegas de trabalho estão submetidos, e, apesar das normas de segurança, é observada uma série de inadequações em uma usina sucroalcooleira localizada na Paraíba. Os dados coletados indicam ausência de equipamentos e máquinas seguras para o processo, ocasionado pela falta de manutenção por profissionais adequados. Dessa forma, a

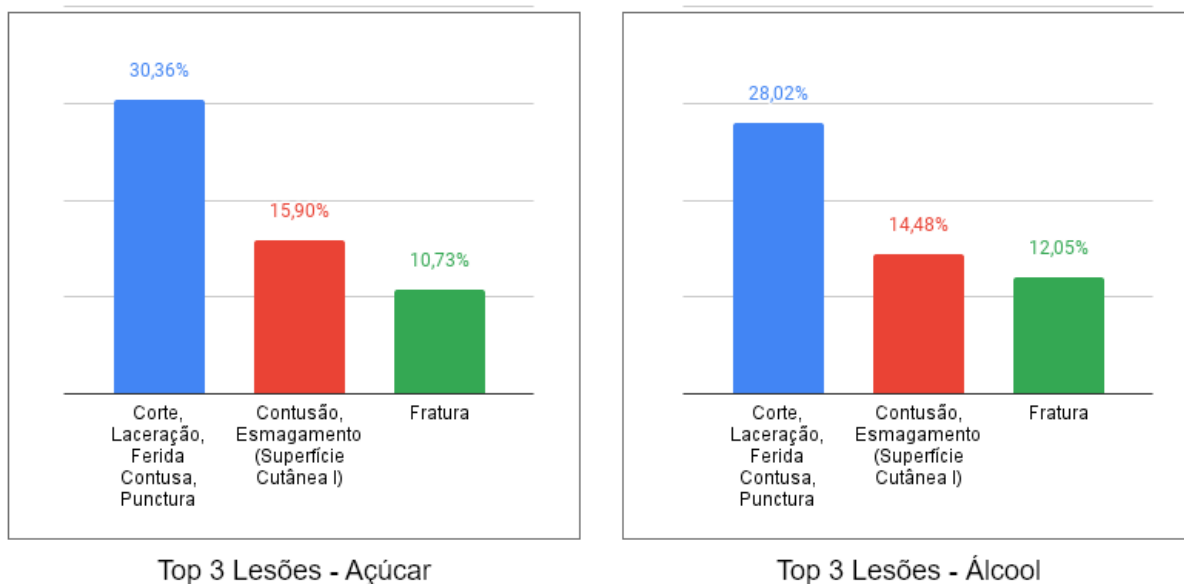
falta de conscientização das partes envolvidas a respeito de segurança e saúde no trabalho faz com que o problema continue prejudicando o bem-estar e a produtividade no trabalho (Santos et al, 2016).

Tabela 2.3 - Lesões e grupos de agentes causadores mais frequentes da produção sucroalcooleira (2012-2020)

		Fabricação de açúcar		Fabricação de álcool	
LESÕES	Corte, Laceração, Ferida Contusa, Punctura	20.049	30,36%	9.291	28,02%
	Contusão, Esmagamento (Superfície Cutânea I)	10.502	15,90%	4.803	14,48%
	Fratura	7.084	10,73%	3.997	12,05%
	Distensão, Torção	6.548	9,92%	3.239	9,77%
	Escoriação, Abrasão (Ferimento Superficial)	5.493	8,32%	2.287	6,90%
	Lesão Imediata, Nic	5.092	7,71%	2.503	7,55%
GRUPOS DE AGENTES	Ferramentas Manuais	16.629	25,19%	7.424	22,38%
	Máquinas e Equipamentos	11.583	17,55%	7.063	21,29%
	Agente Biológico	8.465	12,82%	3.641	10,98%
	Agente Químico	8.348	12,65%	4.775	14,40%
	Queda Do Mesmo Nível	8.057	12,21%	3.712	11,19%
	Veículos De Transporte	4.849	7,35%	2.572	7,75%
	Queda De Altura	3.005	4,55%	1.568	4,73%

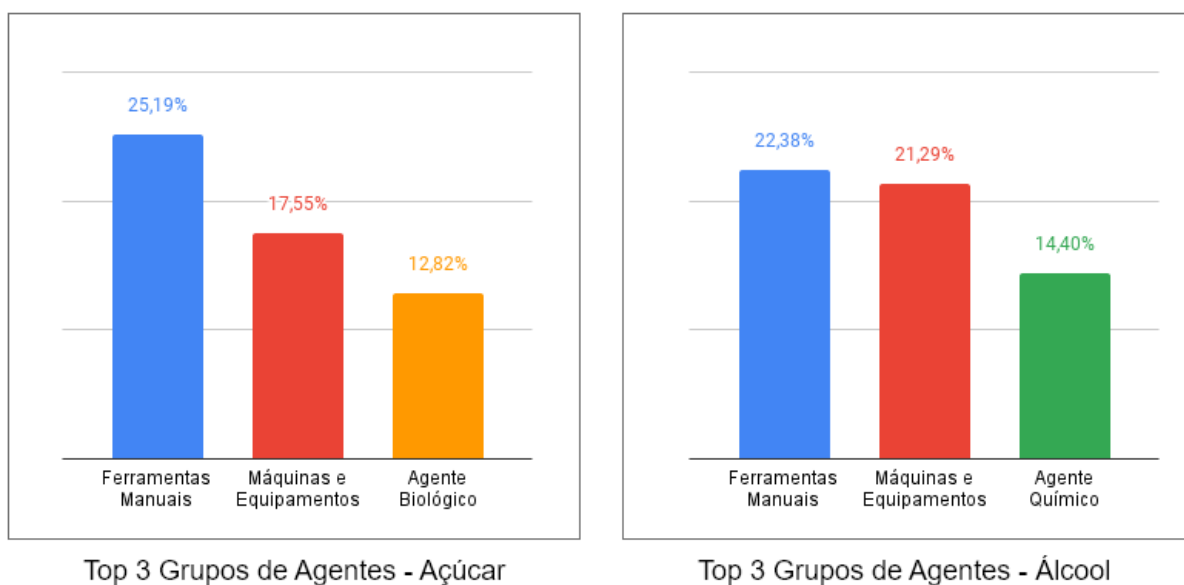
Fonte: Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Figura 2.8 - Lesões mais frequentes na produção de sucroalcooleira (2012-2020)



Fonte: Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Figura 2.9 - Grupos de agentes causadores mais frequentes na produção sucroalcooleira (2012-2020)



Fonte: Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Os gastos envolvendo a segurança industrial e o conforto no ambiente de trabalho precisam ser vistos como investimento, uma vez que o retorno financeiro tende a ser maior que os possíveis gastos com indenizações e transtornos para a empresa. As boas condições de trabalho deveriam receber a mesma importância

que é dada a qualidade dos produtos fabricados, porém, é possível observar que não é dada a devida atenção à vida dos trabalhadores (Silva et al, 2009).

Existe, ainda, uma grande dificuldade das usinas sucroalcooleiras em conseguir lucratividade sem aumentar o índice de acidentes, transformando a gestão de segurança em uma atividade totalmente estratégica. Para isso, é necessário que a empresa esteja disposta a enfrentar as dificuldades do mercado, pois a segurança deve ser garantida no dia a dia e os resultados não surgem de um dia para outro. Fatores como aumento da carga horária destinada a treinamentos, investimento em equipamentos de proteção individual e a classificação das possíveis razões do acidente ocorrido são atitudes essenciais para que os índices de acidentes diminuam. Dessa forma, pode-se dizer que toda organização que considera a segurança um valor inegociável fica mais próxima do chamado “acidente zero”, pois toda consequência é originada de uma ação (Vicente, 2012).

2.4 BIORREFINARIAS

O conceito de biorrefinarias ainda é recente no Brasil e nasceu do contexto de desenvolvimento sustentável, introduzindo, então, a possibilidade de se utilizar matéria orgânica de origem animal ou vegetal, conhecida como biomassa, para a obtenção de biocombustíveis e outros produtos até então obtidos através do setor petroquímico (Oliveira, 2016). De forma geral, se refere a processos e equipamentos altamente integrados que geram produtos de alto valor agregado a partir de biomassa, sendo, assim, sustentável, ambientalmente correta e economicamente viável. As biomassas são matérias orgânicas que podem ser transformadas em energia mecânica, térmica ou elétrica através da digestão anaeróbia, e podendo ser de origem florestal, agrícolas ou até de rejeitos, tanto urbano, quanto industriais e animais (Nali et al, 2016). A agroindústria é responsável por uma grande quantidade de resíduos que podem variar em termos de origem, composição e quantidade. Tais resíduos podem ser usados como fonte de biogás, etanol de segunda geração, hidrogênio e biocarvão, conforme mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Biomassas agroindustriais e suas aplicações

Tipo de agroindústria	Resíduos como matéria-prima	Aplicação	
	Indústria de grãos (processamento de cereais)	Cascas e espigas	Produção de biocarvão, syngas e biogás
	Indústria sucroalcooleira	Bagaço, melaço, vinhaça, torta de filtro (Andrade e Diniz, 2017)	Produção de biogás, syngas, biocombustíveis de segunda geração
	Indústria de nozes	Cascas e cachos de frutas vazios	Uso da biomassa sólida para aquecimento e eletricidade
Indústria vegetal	Processamento de sementes oleaginosas	Semente de soja, bagaço de azeitona, borras, efluentes de óleo palma	Produção de biogás, syngas, combustível de segunda geração e biocarvão
	Vinícolas	Talos, bagaço e semente de uva, borras de vinho	Produção de bioetanol e hidrogênio
	Outros processamentos alimentícios	Processamento de vegetais (tomate, laranja, batata, cogumelos, etc) e seus resíduos (cascas, sementes, etc)	Produção de biogás, syngas, combustível de segunda geração e biocarvão
Indústria animal	Fazenda de gados	Esterco, chorume, soro de leite	Produção de biogás, hidrogênio, biometanol, biocarvão e syngas
	Matadores e outras indústrias de processamento de carnes	Gordura animal, sangue, vísceras, etc	Produção de biogás, hidrogênio, biometanol, biocarvão e syngas

Fonte: Adaptado de Sánchez et al (2019)

A tecnologia aplicada ao processo da digestão sem presença de oxigênio contribui para a diminuição do índice de poluição do planeta, uma vez que evita-se que dejetos sejam lançados no meio ambiente (Ferreira, 2016). Com o tempo, as

biorrefinarias foram se tornando uma maneira atraente de se produzir energia, uma vez que utilizam resíduos agrícolas e agroindustriais que seriam descartados no ambiente e ainda geram empregos para a sociedade (Oliveira, 2016). A introdução do conceito de biorrefinarias em usinas tradicionais fizeram com que houvesse uma redução de custo e conseqüente aumento do lucro, em razão de não estarem mais sujeitas à flutuação do preço de somente um produto (Alvim et al, 2014).

Diversos parâmetros fazem com que o processo industrial de uma biorrefinaria seja algo complexo e difícil de rotular. Cada biorrefinaria produz um produto a partir de uma biomassa específica, sendo assim, é esperado que cada biorrefinaria tenha seu próprio processo de conversão. Em relação a biomassa, tem-se as culturas energéticas, culturas alimentares e resíduos (agroindustriais, florestais ou industriais); já em relação ao produto produzido, é possível ter biorrefinarias de produtos energéticos (bioetanol, biodiesel, biogás e combustíveis sintéticos) e produtos materiais (químicos, comida, ração, etc), essa transformação se dá de acordo com a plataforma utilizada (biogás, açúcares C5 e C6, hidrogênio, lignina, entre outros). Por fim, em relação ao processo de conversão, as biorrefinarias podem ser bioquímicas (fermentação e conversão enzimática), termoquímicas (pirólise e gaseificação), químicas (hidrólise ácida, transesterificação, etc) e mecânicas (fracionamento, pressão, etc) (Cherubini et al, 2009), a Tabela 2.5 apresenta estas possibilidades.

Ao contrário do setor sucroalcooleiro tradicional, as biorrefinarias ainda estão em processo de desenvolvimento, o que faz com que não haja informações suficientes para a compreensão de seu processo, principalmente no que diz respeito às biorrefinarias integradas (Oliveira, 2016). Biorrefinarias integradas são aquelas que são construídas aproveitando os processos industriais já existentes, ou seja, são um anexo das indústrias que produzem a biomassa que virá ser utilizada como matéria-prima (Nali et al, 2016).

No cenário brasileiro, a indústria sucroalcooleira gera um alto volume de resíduos, fazendo com que uma biorrefinaria integrada seja algo bastante promissor. O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto da moagem e é constituído, principalmente, de celulose, hemicelulose e lignina, e geralmente é utilizado na própria usina como fonte de energia, porém, estudos apontam a possibilidade de ser utilizado na produção de etanol 2G (Vasconcelos, 2017). Já a vinhaça, outro

subproduto originado da destilação durante a produção de álcool, é constituída, principalmente, por matéria orgânica e, quando utilizada como biomassa, é capaz de produzir biogás (Oliveira, 2016).

Em 2014, a Raízen iniciou sua produção de etanol 2G na Usina Costa Pinto, localizada em Piracicaba-SP, e segue sendo a única empresa do mundo capaz de produzir esse biocombustível em escala comercial a partir de resíduos. O projeto tem capacidade produtiva de até 40 mil metros cúbico de etanol por ano, correspondendo a um aumento de 50% na produção sem aumentar a área total plantada, além de reduzir 35% a pegada de carbono, ou seja, sua produção emite 35% menos carbono para a atmosfera que o etanol de primeira geração. A mesma empresa inaugurou, em 2020, uma das maiores plantas de biogás do mundo, com 21 MW de capacidade. Localizada em Guariba, a usina foi construída junto à usina Bonfim e utiliza como matéria-prima a vinhaça e a torta de filtro proveniente de sua parceira. O processo de produção de biogás ocorre durante todo o ano, uma vez que a vinhaça é operada durante a safra enquanto a torta é operada durante o ano inteiro. Estima-se que será possível produzir até 138 mil MWh por ano, dos quais 96 mil MWh serão vendidos para a CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) (Raízen, 2021).

Tabela 2.5 - Características usadas na classificação de biorrefinarias

Plataformas	Matérias-prima	Produtos	Processos
1. Açúcar C5	1. Culturas dedicadas	1. Produtos de energia	1. Termoquímico
2. Açúcar C6	1.1. Oleaginosas	1.1. Biodiesel	1.1. Combustão
3. Óleos	1.2. Cultura do açúcar	1.2. Bioetanol	1.2. Gaseificação
4. Biogás	1.3. Colheitas de amido	1.3. Biometano	1.3. Melhoria hidrotérmica
5. Syngas	1.4. Culturas lignocelulósicas	1.4. Biocombustível sintético	1.4. Pirólise
6. Hidrogênio	1.5. Gramíneas	1.5. Eletricidade e calor	2. Bioquímico
7. Lignina	1.6. Biomassa marinha	2. Produtos materiais	2.1. Fermentação
8. Eletricidade e calor	2. Resíduos	2.1. Alimentos	2.2. Digestão anaeróbia
	2.1. Resíduos lignocelulósicos	2.2. Ração animal	2.3 Conversão aeróbia
	2.2. Resíduos à base de óleo	2.3. Fertilizantes	2.4. Processos enzimáticos
	2.3. Resíduos orgânicos e outros	2.4. Glicerina	3. Processos químicos
		2.5. Biomateriais	3.1. Processos catalíticos
		2.6. Produtos químicos e blocos de construção	3.2. Esterificação
		2.7. Polímeros e resinas	3.3. Hidrogenação
		2.8. Biohidrogênio	3.4. Hidrólise
			3.5. Metanização
			3.6. Reforma a vapor
			4. Mecânico/físico
			4.1. Extração
			4.2. Separação de fibra
			4.3. Fracionamento mecânico
			4.4. Pressão
			4.5. Pré-tratamento
			4.6. Separação

Fonte: Adaptado de Cherubini et al (2010)

2.4.1 Biogás no Brasil

O biogás é resultado da biodigestão anaeróbia de uma biomassa e é composto por uma mistura de gases como metano (50 a 70% do volume), dióxido de carbono (20 a 50% v/v), nitrogênio, entre outros (Bontempo et al 2016). Além da vinhaça, o biogás brasileiro pode ser produzido a partir de bagaço de cana-de-açúcar, torta de filtro do processo de produção de álcool, resíduos de madeira (cavaco), palhas de soja e milho, cascas de arroz e café, resíduos da indústria pecuária de confinamento, lodo de estação de tratamento de esgoto, resíduos sólidos urbanos e de vinícolas (EPE, 2018).

Sua produção traz tanto benefícios econômicos quanto sociais e ambientais, visto que o produtor ou empresário poderá utilizar a energia produzida para o abastecimento interno da propriedade ou empresa, diminuindo assim os gastos com eletricidade, além de ser possível receber créditos ao fornecer energia para a rede. Em relação ao social, pode-se citar a geração de emprego, diminuição de odores desagradáveis e, também, evita-se a proliferação de doenças causadas pelo descarte inadequado de lixos. A diminuição da quantidade de gases de efeito estufa (GEE) lançados na atmosfera e a preservação do solo, lençóis freáticos, rios e açudes são as vantagens ambientais apresentadas pela produção do biogás (Ferreira, 2016).

A questão ambiental é bastante importante nos dias atuais, uma vez que a necessidade de se reduzir as emissões de GEE vem sendo abordada há alguns anos e diversas parcerias entre países vêm surgindo com a intenção de deixar o planeta mais sustentável reduzindo o aquecimento global. O Acordo de Paris é um desses tratados que foi discutido durante a 21ª Conferência do Clima (COP-21) em 2015 e que reuniu 195 países, incluindo o Brasil. Com o objetivo principal manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C, o Brasil se comprometeu a reduzir em até 43% as emissões de GEE no período 2005-2030 e tem como principais metas aumentar o uso de fontes de energias alternativas, erradicar o desmatamento ilegal e reflorestar até 12 milhões de hectares (Rei et al, 2017). Nesse contexto, também surgiu a RenovaBio, instituída pela Lei 13.576/2017, com o objetivo de descarbonizar o transporte brasileiro ampliando a participação de biocombustíveis e promovendo a segurança energética do país. A política tem como meta reduzir 847

mil toneladas de CO₂ que serão equivalentes a 6 bilhões de árvores plantadas, além de garantir mais investimentos à produção de etanol, biodiesel e biogás (Unica, 2021).

O processo de obtenção de biogás, conhecido como biodigestão anaeróbia, consiste na transformação da matéria orgânica em metano, gás carbônico e outros subprodutos (Oliveira, 2016). A biodigestão ocorre em quatro etapas sequenciais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Chernicharo, 2007).

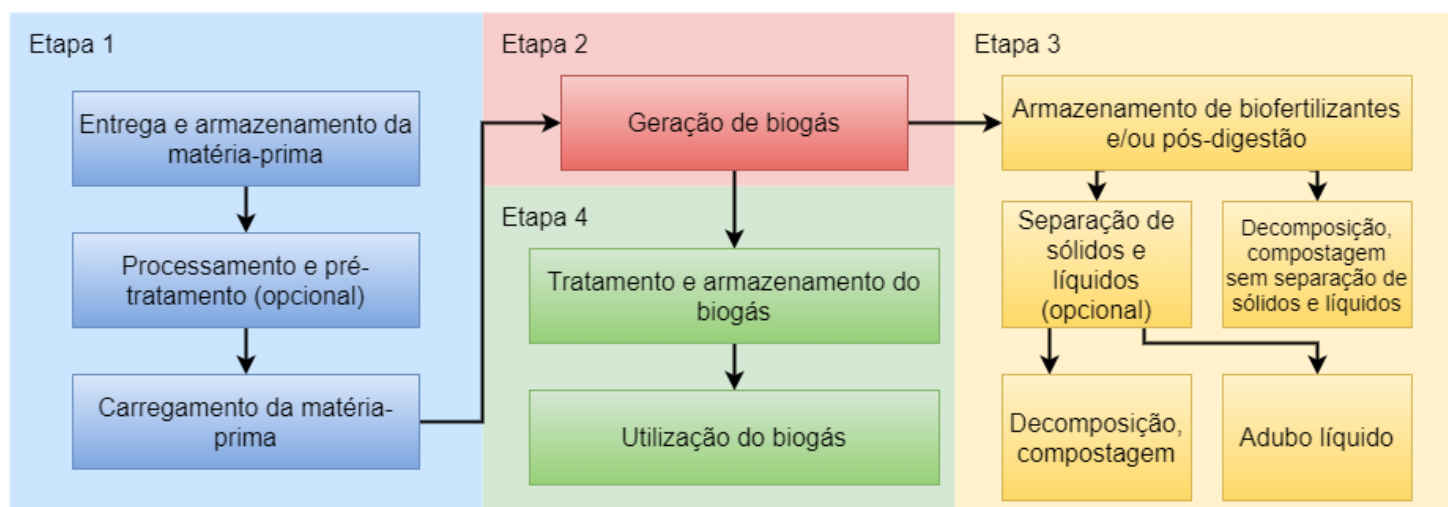
1. Hidrólise: as chamadas bactérias hidrolisadores atacam ao polímeros e monômeros da biomassa, ou seja, ocorre a transformação de compostos orgânicos complexos como proteínas, carboidratos e lipídios em produtos solúveis, como aminoácidos, açúcares, ácidos graxos e glicerina.
2. Acidogênese, ou fermentação: realizado por bactérias fermentativas e consiste na transformação dos produtos da etapa anterior em acetato e hidrogênio, principalmente. Também há formação de ácidos graxos voláteis (AGVs), além de alguns alcoóis de cadeia curta.
3. Acetogênese: conversão dos AGVs em acetato, dióxido de carbono e gás hidrogênio através de bactérias acetogênicas.
4. Metanogênese: produção de metano a partir de acetato, hidrogênio e dióxido de carbono, produtos de etapas anteriores. É considerada a etapa mais crítica e lenta do processo e as bactérias responsáveis pela digestão são conhecidas como metanogênicas (EPE, 2018).

Devido a ampla faixa de tecnologias existentes para a produção de biogás, o número de combinações entre equipamentos e componentes é praticamente infinito, dificultando a apresentação de um único processo (FNR, 2013). De forma resumida, o processo de obtenção de biogás pode ser dividido em 4 etapas conforme a Figura 2.10 apresenta. A primeira envolve os processamentos iniciais da matéria-prima como a entrega, armazenamento, pré-tratamentos e, então, segue para a segunda etapa, a etapa da biodigestão, na qual o material é digerido anaerobiamente, resultando em biogás e biofertilizante. O biofertilizante é armazenado e, se necessário, passa por um tratamento antes de ser utilizado. Por fim, na quarta e última etapa, ocorre o tratamento do biogás produzido, bem como seu armazenamento, distribuição e utilização.

Já o processo de obtenção do biogás em biorrefinarias sucroalcooleiras consiste na continuidade do processo tradicional, no qual a vinhaça resultante da destilação é enviada para o biodigestor e, então, convertida em biogás. Em seguida, passa por uma etapa de purificação, que pode variar de acordo com a aplicação do produto e é destinada para o armazenamento ou direcionada para seu uso final (Oliveira, 2016).

Há 3 tipos de biodigestores que podem ser utilizados: UASB, IC ou lagoas anaeróbias. Um reator UASB (*Upflow anaerobic sludge blanket*) consiste em um tanque onde a biomassa é injetada na parte inferior, atravessando de forma ascendente uma manta de lodo composta por diversos micro-organismos. A separação é realizada na parte superior, sendo retirado o efluente tratado, enquanto o lodo é retido dentro do reator e o biogás é captado. Porém, se submetido a alto carregamento orgânico, o lodo ativo poderá ser arrastado para fora devido à turbulência provocada pelo biogás. Para evitar esse problema, criou-se o reator IC (*Internal circulation reactor*), que consiste basicamente em dois reatores UASB sobrepostos, fazendo com que o biogás seja separado em dois estágios. Por fim, as lagoas anaeróbias são o modelo mais simples e consistem em grandes lagoas revestidas com geomembrana e cobertas para a coleta do biogás (Poveda, 2014).

Figura 2.10- Etapas da produção de biogás



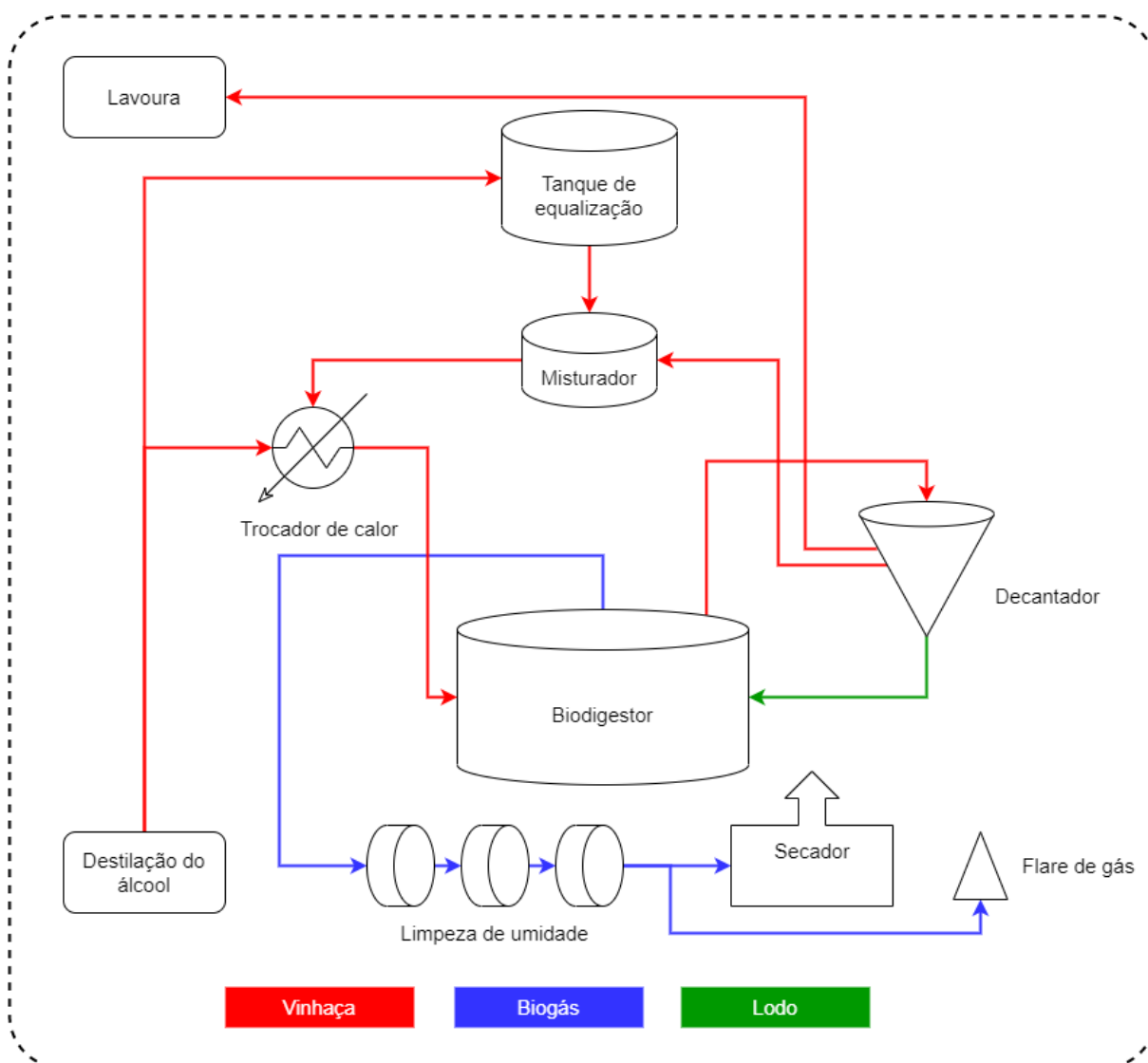
Fonte: Adaptado de Senai/PR (2016)

A etapa de purificação, como já mencionada, pode variar de acordo com a aplicação do produto final. O biogás resultante da digestão anaeróbia da vinhaça é composto por até 2% de H_2S , o que pode acarretar em corrosão dos equipamentos, diminuindo assim, seu tempo útil, então, em alguns casos, sua remoção é necessária. Além disso, algumas aplicações necessitam que a umidade, o CO_2 e outras partículas sejam removidos. Como exemplo, a Figura 2.11 apresenta o processo de biodigestão da vinhaça na Usina São Martinho, localizada no interior de São Paulo. A Usina São Martinho possui uma capacidade de moagem de 24 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, que resultaram em mais de um milhão de toneladas de açúcar e mais de 1 milhão de metros cúbicos de etanol na safra 2019/2020 (São Martinho, 2021). No processo de produção de biogás, é possível observar que, após a saída do biodigestor, o produto passa apenas pela etapa de desumidificação e, em seguida, é direcionado para o secador para que seja feita a secagem de leveduras. Nesse caso, não foi necessário remover H_2S uma vez que, segundo a própria usina, a concentração do gás é inferior a 1% v/v (Poveda, 2014).

Segundo o estudo da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás) publicado em 2018, o Brasil é o país com um potencial de produção de biogás de 84,6 bilhões de metros cúbicos/ano, porém, sua produção foi de apenas 1,3 bilhões de m^3 /ano em 2019, atingindo apenas 1,5% do potencial nacional calculado, indicando uma grande oportunidade de expansão nos próximos anos (CIBIOGÁS, 2020).

Durante o ano de 2020, o país possuía o total de 638 plantas de biogás em operação. Destas, 78% foram classificadas como pequeno porte e representavam apenas 8% do volume total produzido, 16% se referem a plantas de médio porte que produziram 13% do volume total de biogás enquanto as plantas de grande porte representam apenas 6% mas seu volume de produção equivale a 79% do total produzido. A maior parte dessas biorrefinarias utilizam substratos provenientes da agropecuária e representam 11% do volume de biogás produzido. Já a indústria é responsável por gerar resíduos que são utilizados em 12% das plantas existentes, representando a mesma porcentagem de volume produzido que a agropecuária. Por fim, os grandes responsáveis pelo volume de biogás produzido no Brasil são os resíduos sólidos urbanos (RSU) e as estações de tratamento de esgoto (ETE), porém, em quantidade de plantas, representam apenas 9% (CIBIOGÁS, 2021).

Figura 2.11- Biodigestão da vinhaça na Usina São Martinho



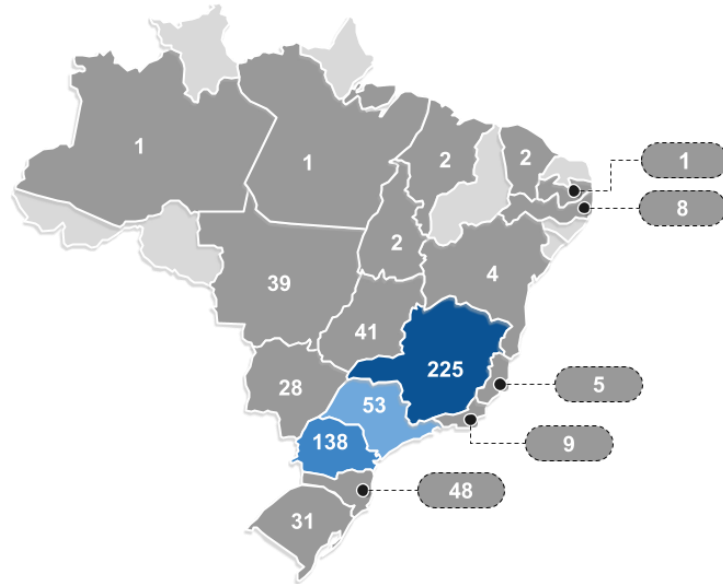
Fonte: Adaptado de Poveda (2014)

Enquanto São Paulo é o campeão no número de usinas sucroalcooleiras, o estado que mais se destacou em número de plantas de biogás no ano de 2020 foi Minas Gerais, com um total de 225 plantas, seguido pelo Paraná, com 138 plantas (CIBIOGÁS, 2021). A Figura 2.12 apresenta a distribuição das plantas de biogás do Brasil no mesmo ano.

Nos últimos anos, houve um crescimento exponencial em relação ao número de usinas de biogás em operação no Brasil, porém, no ano de 2018, esse crescimento foi maior que o aumento em relação ao volume produzido, resultado de um aumento das plantas de pequeno porte (CIBIOGÁS, 2020). A quantidade de

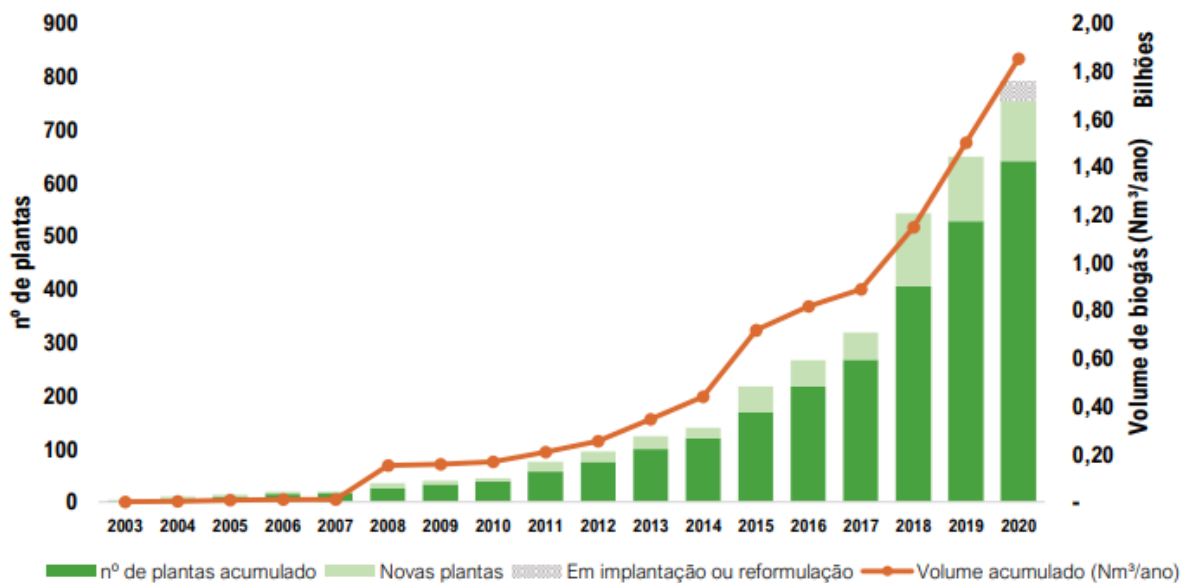
plantas em operação entre os anos 2003 e 2019 no Brasil e seu respectivo volume de biogás produzido, em Nm³/ano, é apresentado na Figura 2.13.

Figura 2.12- Distribuição das plantas de biogás no Brasil no ano 2020



Fonte: Adaptado de CIBIOGÁS (2021)

Figura 2.13 - Quantidade de plantas em operação e volume de biogás produzido (2003-2019)



Fonte: CIBIOGÁS (2021)

O potencial do biogás de cana-de-açúcar no Brasil é apresentado na Tabela 2.6 e modifica de acordo com a biomassa utilizada. É possível observar que a vinhaça possui o maior rendimento de biogás, em Nm³/ton de matéria seca, contudo também possui o menor teor de matéria seca (ABiogás, 2020). Além disso, Figura 2.14 apresenta uma projeção realizada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e indica que, em 2026, o país produzirá cerca de 410 bilhões de litros de vinhaça, representando um aumento de 5,4% a.a., e cerca de 25 milhões de toneladas de torta de filtro. Em contrapartida, a produção de biogás proveniente da vinhaça é estimada em 6,2 bilhões de Nm³ no ano de 2026 (Coelho, 2017).

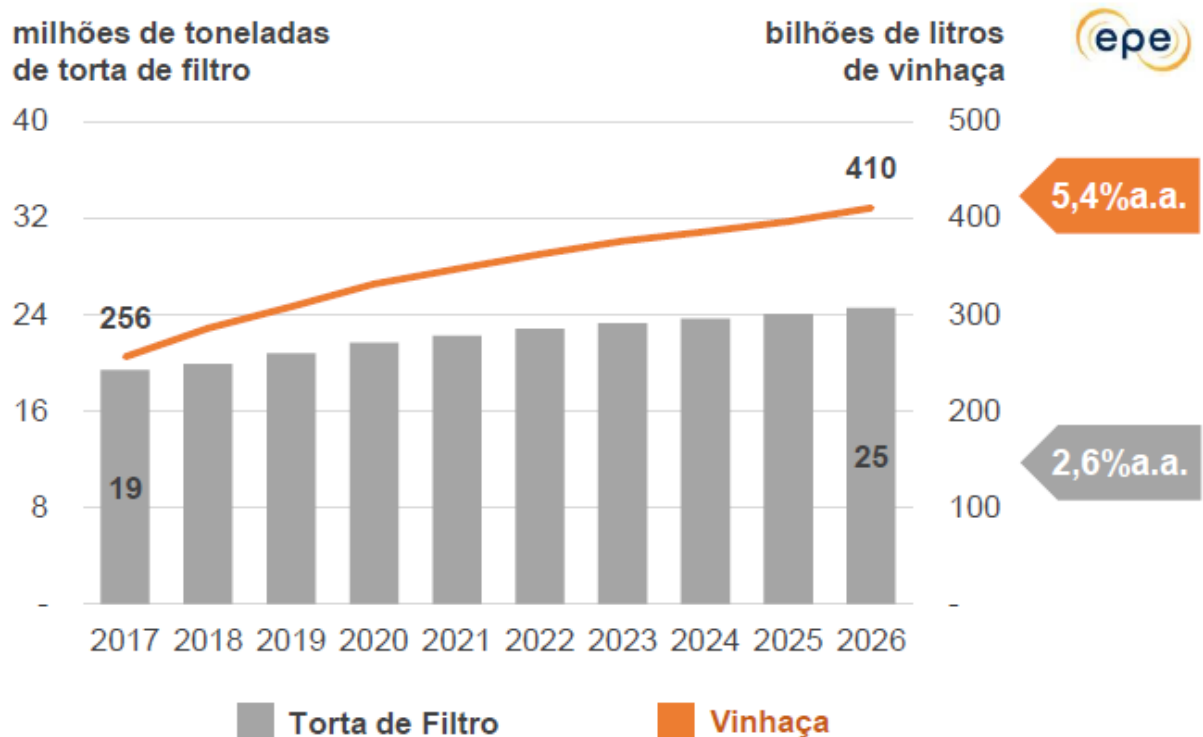
Tabela 2.6 - Potencial do biogás de cana-de-açúcar no Brasil

Biomassa	Geração de resíduos [kg/ton]	Teor de matéria seca [%MS/ton resíduo]	Rendimento de biogás [Nm ³ /ton MS]
Palha	22	60	400
Bagaço	28	50	360
Torta de filtro	3,2	27	300
Vinhaça	11,82	2,4	600

Fonte: Adaptado de ABiogás (2020)

Os próximos anos tendem a ser desafiadores, uma vez que espera-se aumentar a participação do biogás na matriz nacional, aquisição de mais financiamentos para o setor, desenvolvimento e expansão de redes de distribuição e incentivo ao aproveitamento de coprodutos (Coelho, 2017).

Figura 2.14- Projeção para vinhaça e torta de filtro



Fonte: Coelho (2017)

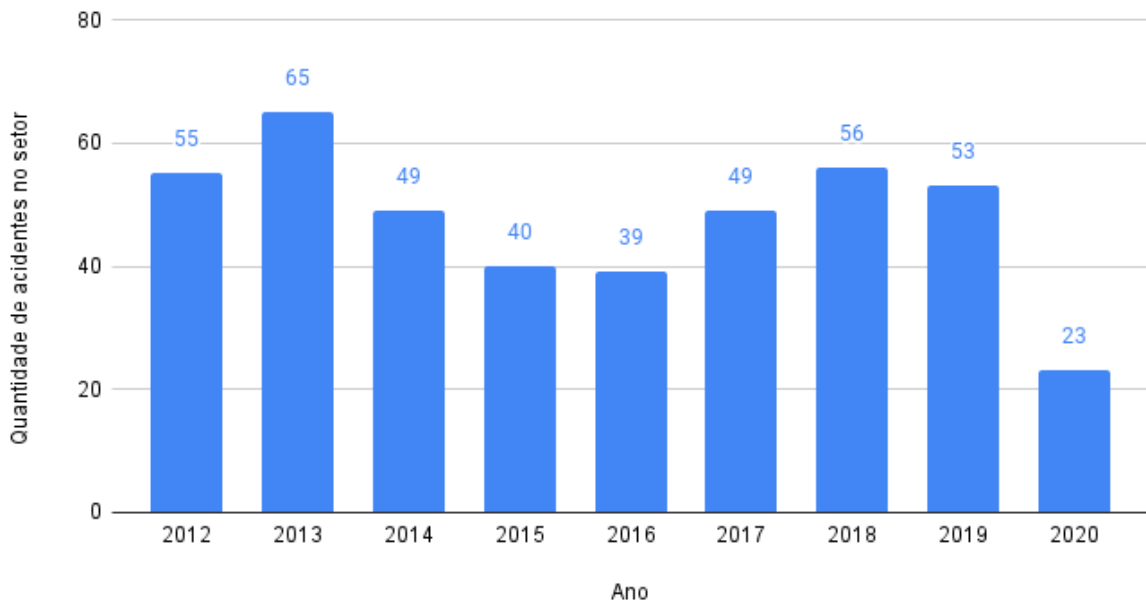
2.4.3 A segurança em biorrefinarias

Ao contrário do setor sucroalcooleiro tradicional, o número de acidentes no setor de produção de biogás não apresenta uma clara tendência de queda, apesar de que no último ano representou o menor índice de acidente desde 2012, conforme indica a Figura 2.15. Apesar de ter sofrido um aumento na quantidade de acidentes entre os anos 2016-2018, não foram registradas mortes por acidente de trabalho durante o período analisado, porém, estudos continuam sendo necessários para diminuir cada vez mais o índice de acidentes no setor.

Por ser considerada uma substância altamente inflamável, recomenda-se manter o biogás longe de fontes de calor, superfícies quentes, faíscas e outras fontes de ignição. Seu local de armazenamento deve ser ventilado e o produto armazenado em recipiente bem fechado. É importante ressaltar que, devido a sua variada gama de composição, sua massa específica pode variar, juntamente com seu teor de umidade e temperatura, sendo assim, ele pode ser mais leve ou mais

pesado que o ar, detalhe importante ao estabelecer medidas de proteção (Bontempo et al, 2016).

Figura 2.15- Histórico de acidentes na produção de gases (2012-2020)



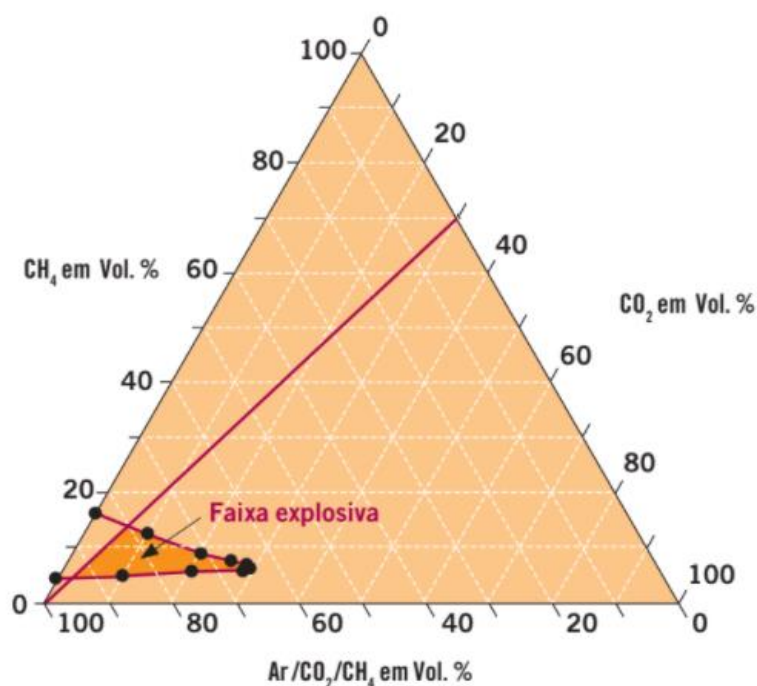
Fonte: Adaptado de Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

As biorrefinarias são sistemas complexos que apresentam diversos riscos aos trabalhadores e à sociedade como um todo. Entre eles, pode-se citar riscos de incêndios e explosões, riscos químicos devido a substâncias perigosas, riscos biológicos, riscos mecânicos e até risco elétrico (Bontempo et al, 2016). Além disso, considerando que estamos falando de produção de biogás a partir da vinhaça, pode-se dizer que todos os riscos de uma usina sucroalcooleira tradicional podem ser expandidos para as biorrefinarias, sendo assim, esse capítulo irá abordar, exclusivamente, os riscos que a produção de biogás apresenta.

O risco de incêndios e explosões se dá devido a propriedades dos gases formados, e pode variar de acordo com a composição do biogás resultante, fazendo com que cada faixa de explosão seja variável, dificultando a prevenção de acidentes (Schroeder et al, 2014). Para identificá-la, pode-se observar o diagrama de inflamabilidade da mistura gasosa que é formado de acordo com a proporção do ar em relação ao gás inflamável, sendo que valores acima ou abaixo dessa faixa não são inflamáveis, conforme indica a Figura 2.16. Além disso, diversas substâncias

perigosas podem ser encontradas em usinas de biogás, entre elas, o próprio biogás, óleos e agentes biológicos. A ingestão de agentes biológicos através da respiração, contato manual, corte ou ferimentos é extremamente perigoso para a vítima. Já os riscos mecânicos são comuns em todas as indústrias e englobam quedas, impactos, corte ou esmagamentos e são mais prováveis de acontecer durante a fase de manutenção. Por fim, os riscos elétricos estão sempre presentes, pois diversos equipamentos movidos a eletricidade são usados em uma usina de biogás, como agitadores, bombas, equipamentos de controle, entre outros, possibilitando a ocorrência de choques elétricos fatais (Bontempo et al, 2016).

Figura 2.16- Diagrama de inflamabilidade



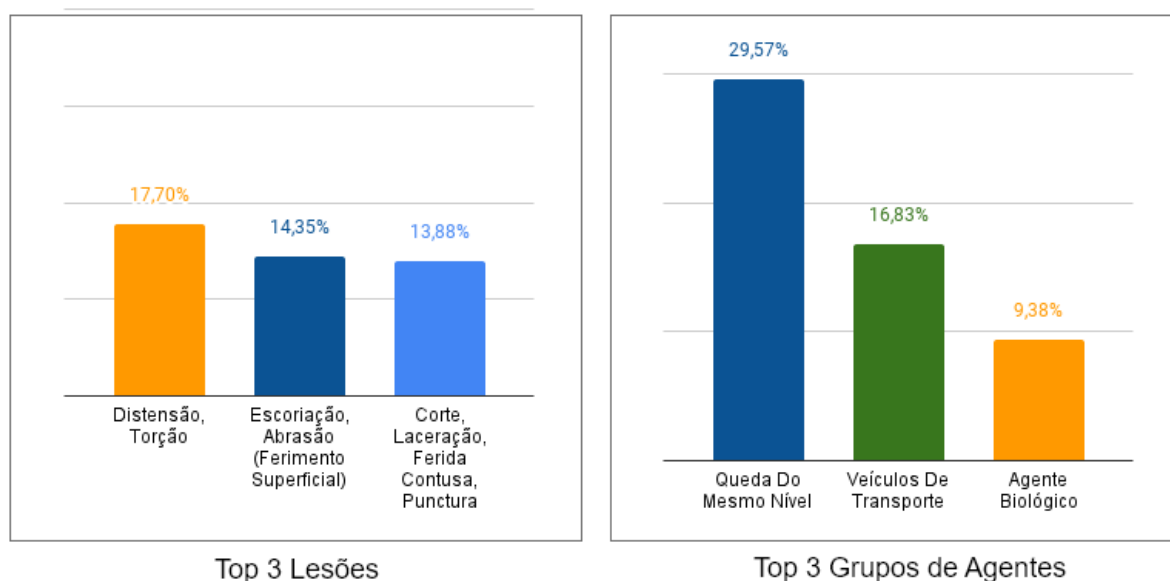
Fonte: Adaptado de Bontempo et al (2016)

A quantidade de acidentes em instalações que produzem bioenergia ao redor do mundo tem aumentado nos últimos anos, justificada pelo aumento no número de instalações e/ou do horário de funcionamento das plantas, porém, foi observado que o índice de acidentes no setor cresce mais rápido que a taxa de produção. Entre os anos 2005 e 2007, houve um aumento de 5 vezes na quantidade de acidentes registrados, enquanto entre os anos 2011 e 2013 o aumento foi de 10 vezes mais. Dos 57 acidentes analisados, o biogás representa 21% dos casos e, destes, 75%

estavam relacionados a explosões (Moreno e Cozzani, 2015). As principais causas dos acidentes envolvendo plantas de biogás são falhas de equipamentos e componentes, erros de manutenção ou falta dela, erros operacionais ou no projeto. Ainda, acredita-se que faltam medidas padronizadas de controle de riscos na produção de biogás, fazendo com que acidentes continuem acontecendo (Moreno et al, 2015).

Através dos dados disponíveis no Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, foi possível analisar as principais lesões e grupos de agentes causadores de acidentes referentes aos anos 2012 a 2020. É possível observar que, a produção de gases possui igual distribuição nos principais tipos de lesões, sendo a distensão e/ou torção a mais comum para esse setor, representando 17,70% dos casos, enquanto a corte, laceração, ferida contusa e punctura aparecem apenas em terceiro lugar, conforme indica a Figura 2.17. Em relação aos grupos de agentes causadores, a indústria de produção de gases apresentou como principal causa de acidentes a queda do mesmo nível, com um total de 123 ocorrências, representando 29,57% dos casos.

Figura 2.17- Top 3 grupos de agentes e lesões na produção de gases* (2012-2020)



*Inclui produção de gases derivados de fontes primárias de energia como carvão vegetal e originados a partir de decomposição biológica de matéria orgânica. Não inclui extração de gás natural, gases produzidos a partir do refino do petróleo, nem a produção de gases industriais ou medicinais.

Fonte: Adaptado de Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2021)

Apesar de a Alemanha ser o país referência na produção de biogás, um estudo apontou que, mesmo com toda a tecnologia já desenvolvida no país, havia classificações erradas de zonas ATEX (área classificada como atmosfera explosiva), ausência de sinalizadores de segurança ou defeituosos, equipamentos elétricos sem proteção contra explosão e, ainda, carência de treinamentos dos funcionários (Schroeder et al, 2014).

Ao se combinar com oxigênio, o biogás pode formar uma atmosfera explosiva, principalmente nas áreas com biodigestores e gasômetros, que são classificadas de acordo com a probabilidade da ocorrência de atmosfera explosiva, o índice varia de 0 a 2 (FNR, 2013):

- Zona 0: raramente encontradas em usinas de biogás, são a zona com maior índice de perigo, uma vez que a atmosfera explosiva ocorre continuamente por longos períodos.
- Zona 1: são áreas próximas a abertura de entrada do gasômetro ou próxima a condução do gás no biodigestor. Nessas áreas, ocasionalmente há formação de atmosfera explosiva.
- Zona 2: raramente há ocorrência de atmosfera explosiva e se aplica a locais em que há abertura de entrada e ao interior do digestor.

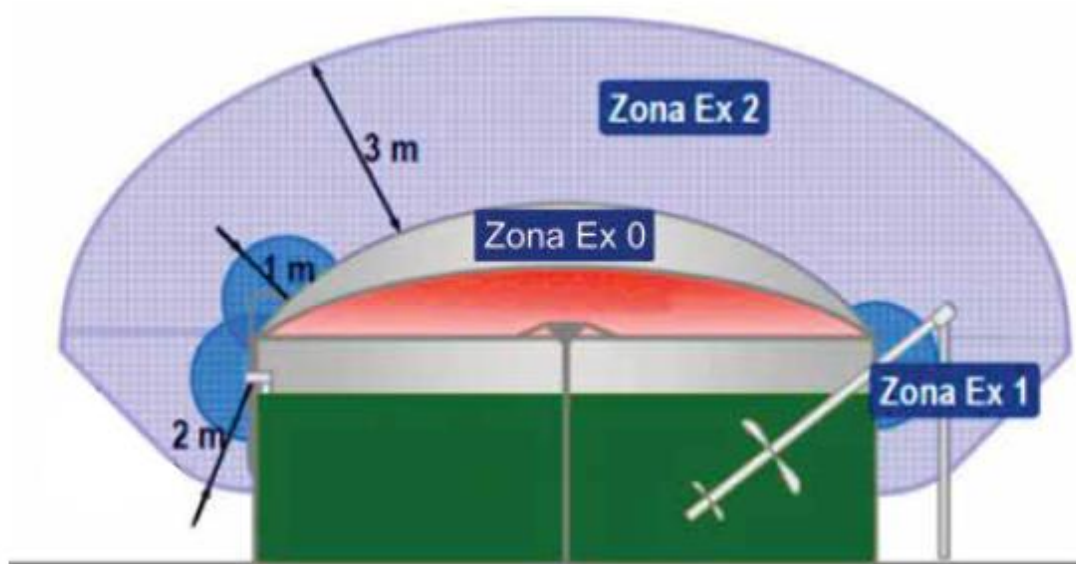
Como exemplo, pode-se classificar a entrada de ar no reator como Zona Ex 0, enquanto a flange de instalação do agitador é classificado como Zona Ex 1. Já a Zona Ex 2 abrange áreas de até 3 metros do digestor, uma vez que é um equipamento que pode ocorrer vazamento de biogás, como representado na Figura 2.18.

Vale ressaltar que, apesar de incêndios e explosões serem acidentes bastante graves, outros tipos também merece a devida atenção como asfixia e envenenamento por gases como dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e amônia (Schroeder et al, 2014). Além dos riscos já apresentados, é necessário se atentar ao risco de quedas, queimaduras e de acidentes causados por partes móveis da usina como eixos de agitação e roscas de transporte (FNR, 2013)

Além disso, foi possível obter, por meio do InfoLogo AEAT - Banco de dados históricos de acidentes de trabalho, a classificação dos tipos de acidentes em acidentes típicos, acidentes de trajeto e doenças de trabalho, também foi possível diferenciá-los de acordo com a presença ou não de CAT (Comunicação de Acidente

de Trabalho). Dos 723 registros, 474 se referiam a acidentes típicos com CAT (65,56% do total), indicando que a maior causa foi em decorrência de atividades realizadas pelo funcionário, enquanto os acidentes sem CAT somaram 25, ou seja, 3,46% dos casos.

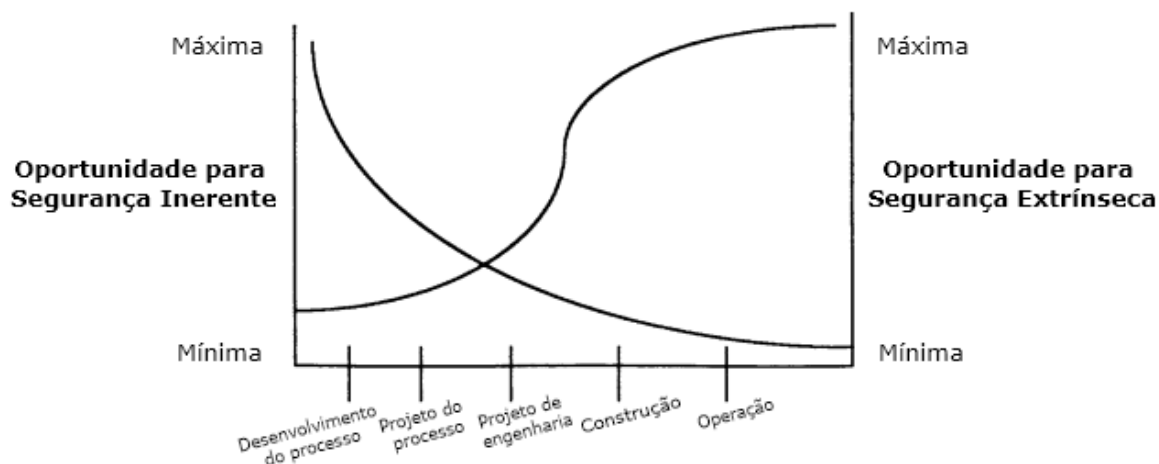
Figura 2.18- Classificação de zonas explosivas



Fonte: Adaptado de Fundação Estadual do Meio Ambiente et al (2015) - Adaptado de Schutzzonen WELtec BioPower, Lutten apud Wagner (2015)

O histórico de falhas e acidentes na produção de biogás indica que não é possível que a eliminação total de perigos ocorra, porém, é necessário que sejam feitas análises dos sistemas de segurança tanto na fase de projeto quanto durante a operação da planta, através de manutenção contínuo dos equipamentos e treinamentos (Stolecka e Rusin, 2021). O ciclo de vida da instalação industrial está relacionado com a segurança inerente e a segurança extrínseca. Enquanto a primeira engloba as primeiras partes do projeto e tem como objetivo tornar o processo mais simples e menos perigoso, a segunda é mais complexa de ser aplicada, uma vez que está relacionada com a etapa de operação, na qual a planta já está construída e possíveis alterações para prevenção de acidentes demandam alto custo (Souza, 2021; Oliveira e Gré, 2013), a Figura 2.19 apresenta essa relação.

Figura 2.19- Segurança Inerente versus Segurança Extrínseca



Fonte: Adaptado de Greenberg e Cramer (1991)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de avaliar a segurança industrial em biorrefinarias de cana-de-açúcar, foi realizado levantamento de artigos, dissertações de mestrados, trabalhos de conclusão de curso e monografias de especialização que abordem o tema estudado. Para isso, pesquisou-se palavras-chaves tanto em português, como: acidente de trabalho, segurança industrial, segurança de processos, setor sucroalcooleiro, cana-de-açúcar, usina de açúcar e álcool, biorrefinarias, biogás e etanol 2G; quanto em inglês: *biorefinery*, *hazard*, *sugarcane*, *sugarcane case study*, *biogas case study*, *sugarcane industry review*, *biogas hazard*, *biorefinery hazard* e *sugarcane industry hazard*. Essas pesquisas foram realizadas em diversos bancos de dados, como o *ScienceDirect* e o *Google Scholar*, além de repositório de faculdades como a UFSCar, USP e Unicamp.

Os materiais encontrados foram triados através de análise dos resumos e palavras-chaves relacionadas e, então, foi possível efetuar a leitura na íntegra de 14 artigos, 4 dissertações de mestrado, 3 trabalhos de conclusão de curso e 1 monografia de especialização. Após, foi possível extrair os pontos-chaves, resultados e conclusão de cada material, realizar o fichamento e a análise de todos os dados encontrados e, por fim, apresentar uma visão histórica da segurança nas indústrias de fabricação de açúcar, álcool e gases.

3.2 DIAGRAMA DE SEGURANÇA

Através do histórico de acidentes, levantou-se medidas de segurança com a intenção de diminuir os casos de acidentes tanto na indústria sucroalcooleira tradicional quanto na produção de biogás. Para isso, utilizaram-se ações recomendadas pelas normas regulamentadoras e informações de manuais de boas práticas como *Common Safety Practices for On-Farm Anaerobic Digestion Systems*, *Biogas Safety first!* e Conceitos para o Licenciamento Ambiental de Usinas de Biogás, além de recomendações encontradas na revisão da literatura realizada.

As recomendações foram selecionadas de modo a evitar os acidentes registrados, agrupadas de acordo com a etapa do processo e apresentadas em um diagrama desenvolvido no *Diagrams.net*, uma ferramenta online e gratuita que permite a criação de aplicativos e *softwares* de diagramação (Jaimez-González et al, 2020). As etapas foram classificadas como: geração de energia, tratamento do caldo, produção de açúcar e destilação do álcool, de acordo com a Figura 2.5; já em relação a produção de biogás, tem-se: alimentação de tratamento do substrato, digestão, gasômetro, proteção contra sub e sobrepresão, purificação, flares e transporte de gás (Bontempo et al, 2016), além de informações gerais sobre manutenção e segurança industrial nos setores estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

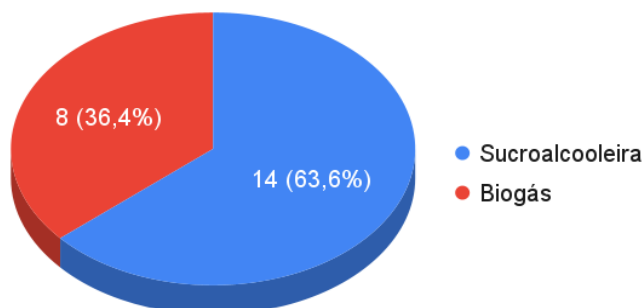
4.1 SEGURANÇA INDUSTRIAL EM BIORREFINARIAS

O levantamento bibliográfico realizado resultou na leitura de 22 materiais na íntegra indicados na Tabela 4.1, dos quais 8 foram analisada a segurança na produção de biogás enquanto 14 se referiam à indústria sucroalcooleira tradicional, conforme indica a Figura 4.1.

A pesquisa foi direcionada para coleta de dados históricos e estudos de casos relacionados à segurança industrial nos setores abordados, sendo assim, foi possível mapear a distribuição geográfica dos dados encontrados, os dados são apresentados na Figura 4.2. Vale ressaltar que, em alguns casos, o material analisou eventos que ocorreram em um conjunto de países e, nesse caso, foi considerado apenas uma citação para cada país por referência. De maneira geral, é possível destacar o Brasil, que contribuiu com 14 estudos exclusivamente do setor

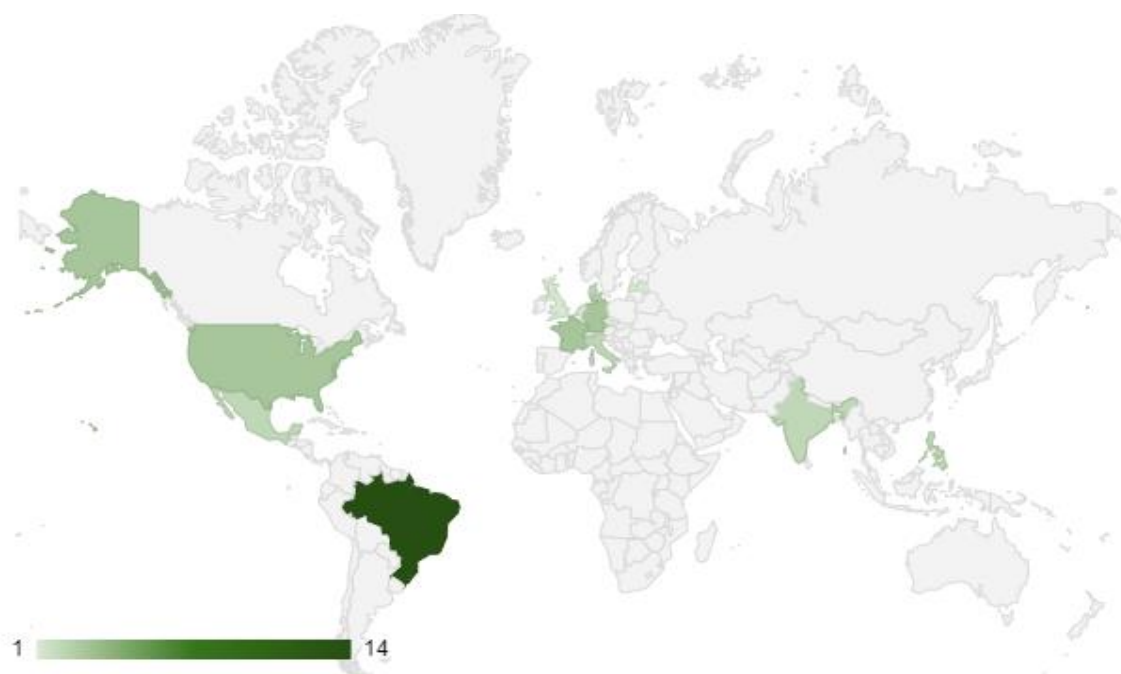
sucroalcooleiro, enquanto outros países da América, Europa e Ásia contribuíram com dados relacionados à produção de biogás.

Figura 4.1 - Distribuição das indústrias dos materiais consultados



Fonte: Acervo Próprio (2021)

Figura 4.2 - Distribuição geográfica de estudos de casos relacionados a produção de biogás e indústria sucroalcooleira

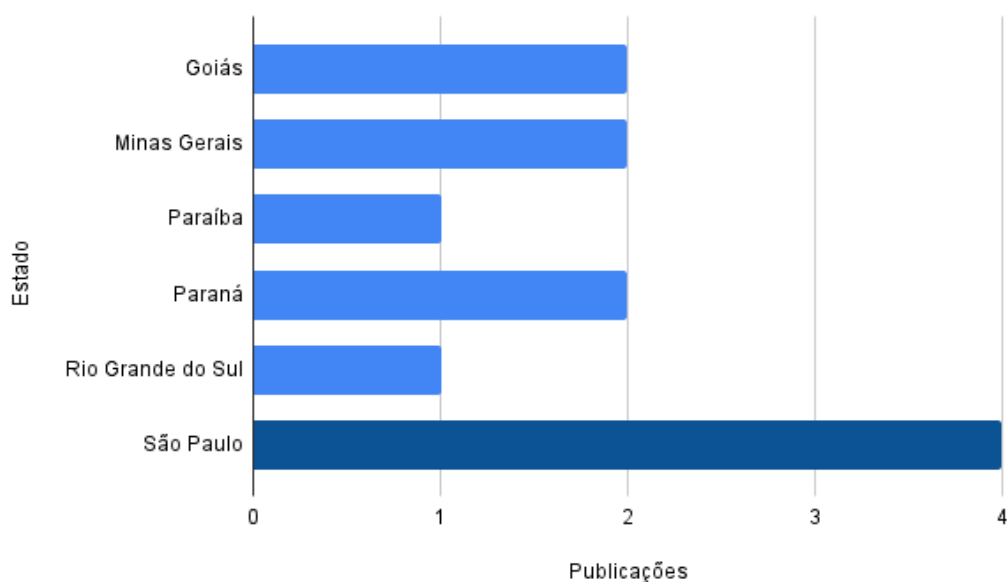


Fonte: Acervo Próprio (2021)

Em relação ao Brasil, dos 14 estudos analisados, 12 focaram em um estudo de caso de uma usina sucroalcooleira específica, sendo assim, foi possível analisar os estados os quais elas estavam localizadas, sendo o São Paulo o mais citado,

como indica a Figura 4.3. Além disso, foi possível levantar o período analisado em cada referência, e assim, observar que os anos 2007 - 2009 e 2012 foram os que tiveram mais dados analisados no total, sendo abordados em 6 artigos simultaneamente, as distribuições temporais são representadas na Figura 4.4.

Figura 4.3 - Distribuição geográfica brasileira relacionada aos estudos de casos analisados nas publicações analisadas



Fonte: Acervo Próprio (2021)

Analisando os materiais encontrados, foi possível observar que eles tinham alguns pontos em comum, como relacionar o risco industrial com setores dos processos e abordar os maiores problemas relacionados à segurança em cada indústria estudada. Sendo assim, é possível observar que as produções relacionadas a biogás focam, quase exclusivamente, nos problemas na segurança industrial, enquanto a produção de açúcar e álcool aborda os dois temas. Através da Tabela 4.2, é possível observar que dos 17 estudos, 16 citam os principais problemas encontrados nas indústrias analisadas, enquanto apenas 9 analisam os setores mais perigosos. Através desse levantamento bibliográfico, foi possível classificar cada etapa da produção de açúcar e álcool de acordo com seu nível de risco, sendo a geração de energia e a manutenção as mais citadas entre os autores, como apresenta a Tabela 4.3. Os autores ainda indicaram a produção de álcool, moagem e tratamento de caldo como etapas que necessitam de atenção; ficaram de

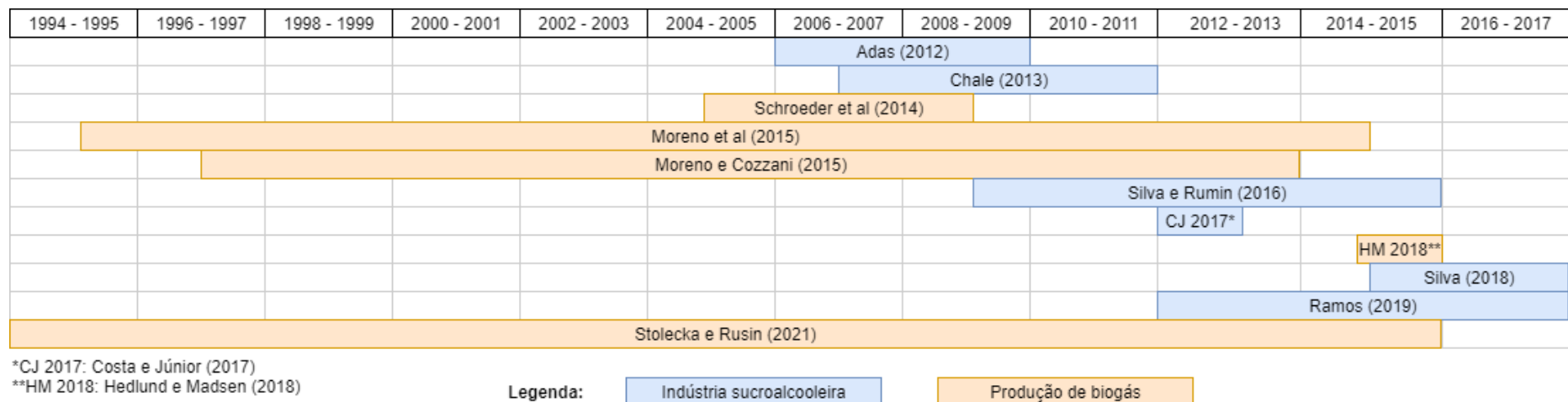
fora etapas como recepção da cana, análises laboratoriais e armazenamento de açúcar.

Em relação aos problemas mais citados, é possível observar que riscos físicos como calor e ruído excessivo são os mais frequentes em usinas de produção de açúcar e álcool, mas ao se referir a usinas de produção de biogás, encontram-se problemas como explosão e incêndios, apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente. De forma geral, é possível observar que, para ambos os casos há a falta de equipamentos, sinalização e iluminação adequados, além do risco de incêndio, indicando a necessidade de medidas de prevenção tanto nas etapas de projeto quanto nas de operação.

Tabela 4.1 - Artigos lidos e analisados na revisão bibliográfica

Autor(es)	Ano Título
Rumin e Schmidt	2008 Influências das condições e organização do trabalho de uma indústria de transformação de cana-de-açúcar na ocorrência de acidentes de trabalho
Silva et al	2009 Mapeamento dos riscos presentes em uma indústria de açúcar e álcool
Adas	2012 Acidentes de trabalho no processamento da cana em uma empresa do setor sucroalcooleiro no interior do Estado de São Paulo
Chale	2013 Perfil de acidentes de trabalho de uma indústria sucroalcooleira em Minas Gerais
Silva	2015 Plano de adequação da nova norma regulamentadora nº 13 para usinas sucroalcooleiras
Silva e Amorim	2015 Análise dos riscos ambientais em uma usina sucroalcooleira no município de Santa Helena de Goiás-GO
Terezan	2015 Inventário para adequação de máquinas e equipamentos em usina de etanol conforme a norma regulamentadora nº12
Silva e Rumin	2016 Acidentes de trabalho no processamento industrial da cana-de-açúcar
Santos et al	2016 Riscos ocupacionais no processo de fabricação de aguardente de cana de açúcar
Costa e Júnior	2017 Análise de risco no processo de manutenção corretiva em um secador de açúcar úmido
Marin et al	2017 Análise de riscos e consequências em uma usina sucroalcooleira
Silva	2018 Influência de fatores pessoais na ocorrência de acidentes de trabalho: estudo do caso em uma empresa do setor sucroalcooleiro
Pientrageli and Lauri	2018 Biogas production plants: A methodological approach for occupational health and safety improvement
Barroso e Brondani	2018 Segurança no trabalho em microdestilaria
Ramos	2019 Ocorrência de acidentes de trabalho no setor sucroalcooleiro do estado de Goiás no período de 2012 a 2017
Schroeder et al	2014 Explosion protection in biogas and hybrid power plants
Moreno et al	2015 Analysis of accidents in biogas production and upgrading
Moreno e Cozzani	2015 Major accident hazard in bioenergy production
Ferreira	2016 Estudo de normas recomendadas (NBR) e regulamentadoras (NR) para uso térmico do biogás
Hedlund e Madsen	2018 Incomplete understanding of biogas chemical hazards - Serious gas poisoning accident while unloading food waste at biogas plant
Santos e Goulart	2020 Análise de segurança de uma planta de produção de hidrogênio para obtenção de energia via reforma à vapor de biogás gerado em aterros sanitários
Stolecka e Rusin	2021 Potential hazards posed by biogas plants

Figura 4.4 - Distribuição temporal dos estudos analisados nas referências analisadas



Fonte: Acervo Próprio (2021)

Tabela 4.2 - Itens analisados por referências analisadas

Autor(es)	Ano Produção	Setores	Problemas	Autor(es)	Ano Produção	Setores	Problemas
Schroeder et al	2014 Biogás	x	x	Silva e Amorim	2015 Sucroalcooleira	x	x
Moreno et al	2015 Biogás		x	Terezan	2015 Sucroalcooleira		x
Moreno e Cozzani	2015 Biogás		x	Rumin e Silva	2016 Sucroalcooleira	x	
Hedlund e Madsen	2018 Biogás		x	Santos et al	2016 Sucroalcooleira	x	x
Stolecka e Rusin	2021 Biogás		x	Costa e Júnior	2017 Sucroalcooleira		x
Rumin e Schmidt	2008 Sucroalcooleira	x	x	Marin et al	2017 Sucroalcooleira		x
Silva et al	2009 Sucroalcooleira	x	x	Barroso e Brondani	2018 Sucroalcooleira	x	x
Adas	2012 Sucroalcooleira	x	x	Ramos	2019 Sucroalcooleira	x	x
Chale	2013 Sucroalcooleira		x				

Tabela 4.3 - Etapas na produção de açúcar e álcool que apresentam mais riscos

Etapas mais perigosa	Autores
Tratamento do caldo	Adas (2012), Chale (2013)
Geração de energia	Adas (2012), Chale (2013), Rumin e Silva (2016), Barroso e Brondani (2018)
Produção e armazenamento de álcool	Adas (2012), Rumin e Silva (2016), Marin et al (2017)
Manutenção	Adas (2012), Chale (2013), Ramos (2019), Rumin e Silva (2016)

Tabela 4.4 - Maiores problemas na produção de açúcar e álcool

Problemas	Autores
Calor excessivo	Barroso e Brondani (2018), Silva e Amorim (2015), Silva et al (2009), Terezan (2015), Rumin e Schmidt (2008)
Ruído excessivo	Barroso e Brondani (2018), Rumin e Schmidt (2008), Rumin e Silva (2016), Silva e Amorim (2015), Silva et al (2009), Terezan (2015)
Falta de isolamento térmico	Terezan (2015), Santos et al (2016), Silva et al (2009)
Emanação de gases e/ou vapores	Barroso e Brondani (2018), Rumin e Schmidt (2008)
Sinalização e/ou iluminação inadequadas	Santos et al (2016), Terezan (2015), Rumin e Schmidt (2008), Ramos (2019)
Equipamentos inadequados	Santos et al (2016), Rumin e Schmidt (2008)
Risco de incêndios e/ou ausência de extintores	Santos et al (2016), Barroso e Brondani (2018), Costa e Júnior (2017), Marin et al (2017)

Tabela 4.5 - Maiores problemas na produção de biogás

Problemas	Autores
Risco de explosão	Pientrageli e Lauri (2018), Schroeder et al (2014), Stolecka e Rusin (2021), Hedlund e Madsen (2018), Cassan Moreno et al (2015)
Risco de incêndio	Pientrageli e Lauri (2018), Schroeder et al (2014), Stolecka e Rusin (2021)
Equipamento e manutenção inadequada	Cassan Moreno et al (2015), Stolecka e Rusin (2021)
Sinalização e/ou iluminação inadequadas	Schroeder et al (2014)
Risco de envenenamento e asfixia	Stolecka e Rusin (2021), Hedlund e Madsen (2018)

4.2 MEDIDAS PREVENTIVAS

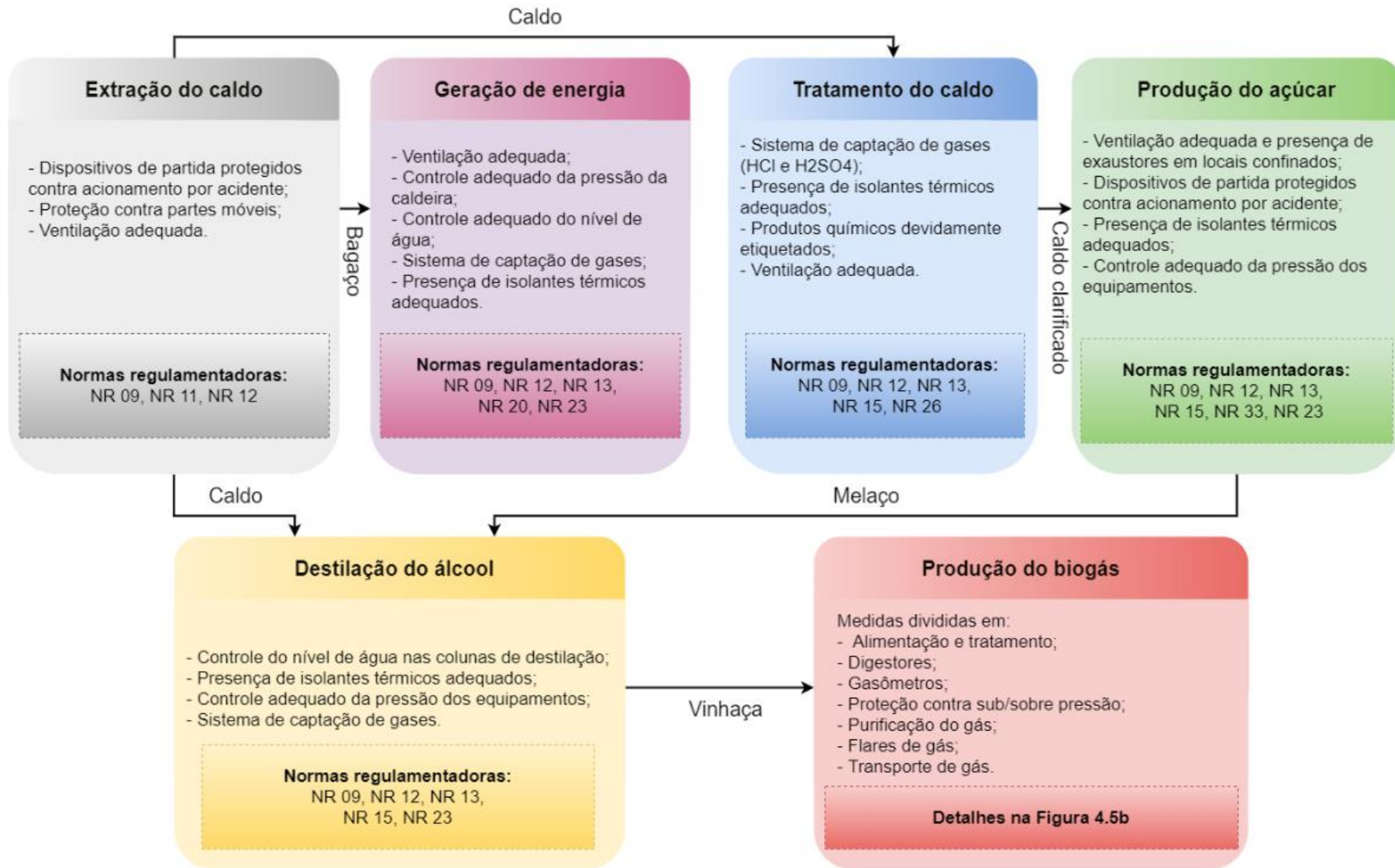
Através dos dados previamente apresentados, foi possível levantar pontos de atenção na produção de açúcar, álcool e biogás em relação à segurança industrial. Todas as ações recomendadas foram apresentadas na Figura 4.6, tornando possível identificar ações semelhantes entre as cada etapa do processo, por exemplo, as etapas que geram aquecimento, como tratamento de caldo e biodigestão do substrato, necessitam de isolantes térmicos que são usados tanto para proteção dos funcionários contra queimaduras e calor excessivo, como para a economia de energia, uma vez que diminuem a troca de calor com o ambiente; já etapas relacionadas a fluidos gasosos, como destilação do álcool e transporte de gases, necessitam de ventilação adequada do local e sistema de controle de pressão, além de ser necessária a captação desses gases, principalmente quando estes produtos são tóxicos.

Em relação a manutenção, recomendou-se isolar a área durante a ação e, também, a existência de planos de manutenção que atuem de forma recorrente no processo, com a intenção de se evitar acidentes causados por falhas técnicas e mecânicas; como exemplo de possíveis ações pode-se citar a limpeza diária dos visores de nível e pressão, a troca semestral da água da caldeira e a elaboração/atualização anual do próprio plano de manutenção. Além disso, destaca-se a presença de manuais de operação de todos os equipamentos com fácil acesso

e em português. Ao analisar o processo de obtenção de biogás a partir da vinhaça, apontou-se a necessidade de dispositivos de proteção contra sub e sobrepressão com a intenção de evitar incêndios e explosões, e devem possuir, pelo menos, um equipamento alternativo para o consumo do gás. Em relação ao transporte de gás, ressaltou-se a importância da identificação de todas as tubulações, bem como a direção do fluxo.

Por fim, foi possível sugerir ações que podem ser aplicadas em toda planta industrial, como o zoneamento de áreas explosivas, plano de evacuação e saídas de emergência devidamente localizadas e desobstruídas, disponibilização e uso de EPIs adequados para cada etapa, presença de alarmes para detectar vazamento de gases e incêndios, demarcação de áreas de circulação e utilização de pisos antiderrapantes. Todas essas ações são apresentadas no diagrama da Figura 4.5.

Figura 4.5 - Medidas de segurança em biorrefinarias de cana-de-açúcar



Fonte: Acervo Próprio (2021)

Figura 4.5b - Medidas de segurança em biorrefinarias de cana-de-açúcar (continuação)

Produção do biogás

Alimentação e tratamento	Digestores	Gasômetros	Proteção contra sub/sobre pressão	Purificação do gás	Flares de gás	Transporte do gás
<ul style="list-style-type: none"> - Proteção contra queda de pessoas; - Monitoramento do ar e ventilação adequada; - Proteção contra partes móveis; - Produtos químicos devidamente etiquetados, se aplicável; - Dispositivos de abertura protegidos contra acionamento por acidente; - Controle e sensores de nível. 	<ul style="list-style-type: none"> - Isolante térmico de baixa inflamabilidade próximo a liberação do gás; - Desligamento individual do restante do sistema; - Controle e sensores de nível; - Muro de contenção ao redor; - Impedir a entrada de oxigênio; - Evitar a formação de espuma do substrato; - Monitoramento do ar e ventilação; - Proteção contra partes móveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositivos de proteção contra sobrepressão e subpressão; - Protegidos por barreiras contra impactos e demarcações de segurança; - Uso de vedações adequadas em conexões; - Monitoramento do ar e ventilação adequada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Em caso de sobrepressão, deverá ter um equipamento alternativo para o consumo do gás (ex: queimador); - Eliminação do gás para cima ou para os lados, respeitando as distâncias de segurança; - Localização adequada (1 metro acima do digestor e pelo menos 5 metros de prédios e vias públicas). 	<ul style="list-style-type: none"> - Controle adequado de vazão; - Presença de válvula de retenção; - Produtos químicos devidamente etiquetados; - Monitoramento do ar e ventilação adequada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidade compatível com a máxima produção de biogás; - Válvula de segurança com abertura lenta e fechamento rápido, com posições aberta e fechada indicadas; - Protetor contra chamas próximo ao equipamento; - A chama deverá soprar contra o gasômetro, prédios e vias públicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de corta-chamas próximo aos equipamentos; - Identificação de todos os tubos e direção do fluxo; - Evitar curvaturas desnecessárias; - Utilizar diâmetro mínimo de 50 mm.

Normas regulamentadoras:
NR 08, NR 09, NR 11, NR 12, NR 13, NR 15, NR 17, NR 20, NR 21, NR 23, NR 26

Fonte: Acervo Próprio (2021)

Figura 4.5c - Medidas de segurança em biorrefinarias de cana-de-açúcar (continuação)

Indústria em geral

- Planta de toda a instalação industrial;
- Zoneamento de áreas explosivas;
- Treinamentos adequados e frequentes;
- Plano de evacuação e saídas de emergência devidamente localizadas e desobstruídas;
- Respeito ao horário de pausa e descanso;
- Disponibilização de EPI necessários e adequados, além de sua manutenção e limpeza com frequência;
- Sinalização de áreas de riscos;
- Sistema de drenagem superficial em caso de possíveis vazamentos;
- Para-raios;
- Presença de alarme para detectar vazamento e incêndios;
- Equipamentos feitos de materiais adequadas, como, por exemplo, aço inoxidável;
- Pisos com antiderrapantes e com a menor quantidade de desnível possível;
- Demarcação de áreas de circulação;
- Controle frequente de nível de ruído e temperatura do local;

Normas regulamentadoras:
NR 05, NR 06, NR 08, NR 10, NR 11, NR 13, NR 15, NR 17,
NR 23, NR 26

Manutenção

- Oferta de treinamentos;
- Dispositivos de partida protegidos contra acionamento por acidente;
- Plano de manutenção que atuem de forma recorrente;
- Manual de operação de todos os equipamento com fácil acesso e em português;
- Isolamento da área durante o período de manutenção;
- Sistema de ventilação em locais confinados.

Normas regulamentadoras:
NR 11, NR 13, NR 26, NR 33

Fonte: Acervo Próprio (2021)

4.3 DISCUSSÕES

Através dos dados analisados e do modelo proposto, é possível observar que, mesmo o perfil dos acidentes das indústrias sucroalcooleiras serem um pouco diferente das usinas de produção de biogás, muitas medidas de prevenção podem se adequar a ambas, indicando que as boas práticas de segurança se aplicam a ambos os casos.

Apesar de ser possível obter biogás através de resíduos da indústria sucroalcooleira, é possível observar uma discrepância muito grande de estudos relacionados ao dois temas. Estudos relacionados à segurança na indústria sucroalcooleira brasileira foram mais fáceis de serem encontrados do que estudos relacionados à produção de biogás, estes se concentravam, principalmente, em países da Europa, conforme apresentado na Figura 4.2. Além disso, em relação ao Brasil, não foram encontrados estudos que avaliassem a situação de indústrias de biogás em relação à segurança, indicando uma carência de informação sobre o tema. Dos 14 estudos sucroalcooleiros encontrados, 12 focaram em usinas sucroalcooleiras específicas que estão localizadas, principalmente, no estado de São Paulo, como indica a Figura 4.3, que também é o maior produtor de açúcar do Brasil (Unica, 2021), vale ressaltar que o estado também é responsável pela maioria dos acidentes de trabalho no país (Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, 2021), indicando uma possível relação entre as três variáveis: São Paulo, acidentes de trabalho e setor sucroalcooleiro.

A pesquisa foi direcionada a estudos que avaliassem o histórico de acidentes nos setores escolhidos, uma vez que a análise histórica permite obter conhecimento das causas e efeitos de acidentes, tornando possível estabelecer medidas de prevenção eficazes (Souza, 2021). Uma das variáveis avaliadas nos estudos, foi o tempo de coleta de registros de acidentes, e encontrou-se 11 referências que utilizaram o tempo como variável, sendo 6 relacionadas à indústria sucroalcooleira enquanto 5 foram relacionadas à produção de biogás, como indica a Figura 4.4. Ressalta-se a grande diferença temporal avaliada, enquanto os estudos relacionados à produção de biogás possuíam um período de tempo maior, os estudos sobre a produção de etanol e açúcar tiveram um menor período analisado, uma vez que se tratavam, principalmente, de estudos relacionados a uma usina específica, enquanto os estudos relacionados a biogás se referiam a grande base de

acidentes ao redor do mundo. Esse fato também pode ser comprovado a partir das Tabelas 4.3 e 4.4, uma vez que a primeira se refere a dados da fabricação de açúcar e álcool que foram obtidos através de observação direta no local e/ou análises do histórico de acidentes disponibilizados pela própria empresa, tornando possível obter problemas do dia-a-dia operacional como ruído e calor excessivo. Por outro lado, a Tabela 4.5 apresenta, principalmente, risco de explosão e incêndios, pois a mesma foi obtida através de dados históricos e não houve contato direto com a empresa estudada, com exceção do estudo realizado por Hedlund e Madsen (2018) no qual os autores realizaram entrevista com os funcionários.

Ao analisar materiais que mencionasse setores e problemas mais comuns, foram encontradas 17 referências, sendo 5 relacionadas à produção de biogás e 12 relacionadas à indústria sucroalcooleira, e concluiu-se que a maioria dos estudos investigaram os problemas que originaram os acidentes, porém, apenas um artigo relacionado ao biogás apresentou uma análise de setor, enquanto 8 referências sucroalcooleira utilizou a variável, representando 67% dos estudos, como indica a Tabela 4.2. Essa diferença de nível de detalhes entre os artigos também é resultado da diferença do foco dos artigos mencionados anteriormente.

A geração de energia e a etapa de manutenção foram eleitas as etapas mais perigosas da indústria sucroalcooleira e isso se dá, principalmente, à presença de alguns equipamentos como a caldeira na etapa de geração de energia, uma vez que a mesma apresenta, principalmente, risco de explosão e queimadura. Já a fase de manutenção foi bastante citada devido ao recorrente desvio de tarefa que ocorre, ou seja, pessoas sem treinamentos são alocadas para realizar a manutenção de equipamentos que não costumam operar, ocasionando acidentes como o citado por Adas (2012), no qual um funcionário foi queimado por ácido sulfúrico durante a manutenção na etapa de fermentação sem treinamento prévio. Esse fato também está de acordo com os dados apresentados do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, apresentados na Figura 2.9, na qual os principais grupos de agentes causadores de acidente na produção de açúcar e álcool são ferramentas manuais e máquinas de equipamentos. Apesar da indústria de açúcar e álcool possuir risco de incêndios e explosões, esses são raros e muitas vezes não são citados na literatura, ao contrário das usinas de biogás, que possuem grande parte dos estudos

relacionados a segurança voltados a esse tipo de acidente devido a magnitude do mesmo quando ocorrem (Probiogás, 2016).

Com o objetivo de prevenir esses tipos de acidentes, construiu-se o diagrama apresentado na Figura 4.5. A indústria, de maneira geral, deverá ser um local totalmente seguro e conhecido, fazendo com que erros operacionais sejam evitados e para isso, recomenda-se classificar as áreas de acordo com a atmosfera explosiva para diminuir o risco de incêndios e explosões, além disso, devem estar sinalizadas e conter equipamentos detectores de vazamentos, bem como sistemas de alarme (Bontempo et al, 2016). Medidas de proteção contra acidentes do dia-a-dia também devem ser adotadas, como a implantação de pisos antiderrapantes, ausência de degraus e utilização de equipamentos de proteção individual, assim, lesões como fraturas e torções que estão entre as mais comuns dos setores (Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho, 2021) poderão ser evitadas. Além disso, deve-se respeitar os limites dos seres humanos bem como seus horários de descanso e pausa, uma vez que a maioria dos acidentes ocorrem durante o período da manhã, o qual é caracterizado pela maior oferta de matéria-prima, demandando alto esforço dos trabalhadores, vale ressaltar que a falta de atenção devido ao cansaço ou superalocação dos trabalhadores está relacionada a lesões como corte e lacerações (Rumin e Schmidt, 2008).

Espera-se também que haja treinamento contínuo aos funcionários, como menciona Costa e Júnior (2017), Adas (2012), Chale (2013), Herrera (2019), Ramos (2019), Rumin e Schmidt (2008), Santos et al (2016), Vicente (2012) e Silva e Amorim (2015), fato reforçado pelo estudo de Rumin e Silva (2016) que apresentou uma queda na incidência de acidentes no setor sucroalcooleiro devido a realização de treinamentos. Válvulas e sensores também devem estar presentes em todas as etapas de acordo com a necessidade, assim será possível garantir a temperatura adequada do processo, controlar o nível de água da caldeira e até evitar explosão dos biodigestores, também se recomenda ter um sistema elétrico seguro e tubulações devidamente identificadas (Silva, 2015).

A maioria das medidas de proteção recomendadas deve ser adotada durante a etapa de projeto e são específicas do processo, uma vez que se referem à presença de equipamentos e acessórios adequados, além de recomendações relacionadas ao layout da planta. Já as medidas protetivas durante a fase

operacional de uma indústria sucroalcooleira são semelhantes às recomendadas para a produção de biogás, indicando que a construção de uma usina integrada de geração de biogás a partir da vinhaça não demandaria esforços adicionais em relação à operacional, além de tornar o processo mais sustentável e rentável, uma vez que geraria menos resíduos e produziria energia. Contudo, vale ressaltar que todas as medidas de proteção mencionadas devem ser aplicadas aos processos estudados, porém não deve-se limitar a elas, pois cada processo demandará um conjunto de ações específicas de acordo com as particularidades do sistema, reforçando, assim, que a segurança industrial é um tema complexo e deve-se sempre optar por medidas em excesso, nunca pela falta.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A análise de acidentes dos setores estudados permitiu entender que as principais falhas do sistema de prevenção de acidentes na produção de biogás e usinas sucroalcooleira são decorrentes de explosões e altas temperaturas, respectivamente, indicando que deve existir além de um sistema de controle, mas também, um sistema de segurança. Também foi possível apontar a necessidade de treinamentos adequados em ambos os casos, evitando que erros operacionais venham a ocorrer no dia-a-dia da empresa e durante operações de manutenção. Apesar das semelhanças citadas entre a produção de açúcar, álcool e biogás, foi possível encontrar algumas diferenças como, por exemplo, a produção de biogás exige que tenha sensores de gases espalhados pela planta para identificar possíveis vazamentos que venham a provocar incêndios e explosões, enquanto a produção de açúcar e álcool necessita apenas de um sistema de ventilação adequado para evitá-los. Dessa forma, é possível observar que a construção de uma usina integrada de geração de biogás a partir da vinhaça não demandaria esforços específicos em relação segurança industrial na fase operacional, sendo necessários ajustes durante a etapa de projeto, uma vez que muitas medidas de prevenção podem se adequar a ambas, indicando que as boas práticas de segurança se aplicam a ambos os casos. Destaca-se, ainda, a ausência de estudos brasileiros relacionados a segurança de usinas de biogás, sendo assim, recomenda-se um estudo de caso brasileiro para avaliar a efetividade das medidas recomendadas, bem como a análise minuciosa do

histórico de acidentes no setor, indicando as áreas de maior risco e o perfil dos acidentes.

6 REFERÊNCIAS

ABiogás. **O potencial brasileiro de biogás**. 2020. Disponível em https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf.

Acesso em: 13/06/2021.

ADAS, L. C.. **Acidentes de trabalho no processamento em uma empresa do setor sucroalcooleiro no interior do Estado de São Paulo**. 2012. 116 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina de Botucatu. 2012.

AKUTSU, C. M. H.. **Segurança de processos e prevenção de perdas em processos industriais**. 2017. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. 2017.

ALBANEZ, R. **Codigestão de vinhaça e melação em biorreator anaeróbio operado em bateladas sequenciais com biomassa imobilizada visando a produção de hidrogênio**. 268p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

ALMEIDA, I. M. de. **Análise de barreiras e o modelo de ressonância funcional de acidentes de Erik Hollnagel**. Rev. bras. saúde ocup., São Paulo, v. 33, n. 118, p. 17-31, 2008.

ALVIM, J. S., ALVIM, F. A. L. S., SALES, V. H., OLIVEIRA, E. M. de, SALES, P. V. G., COSTA, A. C. R. da. **Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos**. Journal of Bioenergy and Food Science. 01. 71-86p. 2014.

ANDRADE, J. M. F. de; DINIZ, K. M.. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. 2007. 131 p. Monografia (especialização) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2007.

BARROSO, L. B.; BRONDANI, M.. **Segurança no trabalho em microdestilaria**. Revista de Ciência e Inovação, v. 2, p. 87, 2018.

BONTEMPO, G.; MACIEJCZYK, M.; WAGNER, L.; FINDEISEN, C.; FISCHER, M.; HOFMANN, F.. **Biogas Safety First!**: Diretrizes para o uso seguro da tecnologia de biogás. 1. ed. Alemanha: Fachverband Biogas e. V., 66 p. 2016.

CCPS, C. F. C. P. S. **Guidelines for Risk Based Process Safety**. Hoboken, New Jersey: John Wiley Sons, Inc., 2007. ISBN 978-0-470-16569-0.

CHALE, F. E. C.. **Perfil de acidentes de trabalho de uma indústria sucroalcooleira em Minas Gerais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

CHEQUIN, B. G.; GRANDI, G.. **O setor sucroalcooleiro brasileiro: origem e desenvolvimento**. 2016. 6ª Conferência Internacional de História Econômica e VIII Encontro de Pós-Graduação em História Econômica. São Paulo. 2016.

CHERNICHARO, C. A. de L.. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 380 p. Vol 5. 2007.

CHERUBINI, F.; JUNGMEIER, G.; WELLISCH, M.; WILLKE, T.; SKIADAS, I.; VAN REE, R.; JONG, E. de. **Toward a common classification approach for biorefinery systems**. *Biofuels, Bioproducts And Biorefining*, [S.L.], v. 3, n. 5, 534-546 p. 2009.

CIBIOGÁS. **Nota Técnica: N° 002/2010 – Panorama do Biogás no Brasil em 2019**. Foz do Iguaçu, 2020.

COELHO, J. M., **Impactos da participação do biogás e do biometano na matriz brasileira**. IV Fórum do Biogás. São Paulo. 2017.

COSTA, S. S.; JÚNIOR. E. F.. **Análise de risco no processo de manutenção corretiva em um secador de açúcar úmido**. *Intercursos Revista Científica*, [S. I.], 2017.

COSTALONGA, A. G. C.; FINAZZI, G. A.; GONÇALVES, M. A.. **Normas de Armazenamento de Produtos Químicos**. 2010. Universidade Estadual Paulista. Araraquara. Disponível em <https://docplayer.com.br/2441379-Normas-de-armazenamento-de-produtos-quimicos.html>. Acesso em: 13/06/2021.

CUNHA, J. P. A. R. da; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C.. **Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo.** Pesquisa Agropecuária Tropical, vol. 39, núm. 4, 348-355 p. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia, Brasil. 2009.

FERREIRA, F. A.. **Estudo das normas recomendadas e regulamentadoras para uso térmico do biogás.** 2016. 33 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal Fluminense, Escola de engenharia. Niterói. 2016.

FERRO, D. M.. **Acidentabilidade de trabalhadores da indústria de alimentos: ocorrência por ano e região.** 2019. Monografia (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Sul de Santa Catarina, 2019.

FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. **Guia prático do biogás - Geração e utilização.** Blogasportal.info. 2013. 236. Disponível em http://www.limpezapublica.com.br/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf. Acesso em: 13/06/2021.

Fundação Estadual do Meio Ambiente; Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais; Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ). **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria.** Belo Horizonte. 160 p. 2015.

GONCALVES FILHO, A. P.; RAMOS, M. F.. **Acidente de trabalho em sistemas de produção: abordagem e prevenção.** Gest. Prod., São Carlos, v. 22, n. 2, p. 431-442, 2015.

HERRERA, C. C.. **Intervenções em saúde e segurança do trabalho no setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo (2004-2013): uma perspectiva qualitativa sobre a percepção de diferentes atores envolvidos.** 2019. 124 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas. 2019.

IWAMOTO, H. H.; OLIVEIRA, K. F. DE; PEREIRA, G. DE A.; PARREIRA, B. D. M.; GOULART, B. F. **Saúde ocupacional: controle médico e riscos ambientais.** Acta Scientiarum. Health Sciences, v. 30, n. 1, p. 27-32, 24 jul. 2008.

JAIMEZ-GONZÁLEZ, C. R.; MARTÍNEZ-SAMORA, J.. **DiagrammER: a web application to support the teaching-learning process of database courses through the creation of e-r diagrams**. International Journal Of Emerging Technologies In Learning (Ijet), [S.L.], v. 15, n. 19, p. 4, 2020. International Association of Online Engineering (IAOE).

JONES, D. Turning the Titanic: **Three Case Histories in Cultural Change**. New York: American Institute of Chemical Engineers, 2001

LEITE, M. R.; ZANETTA, D. M. T.; TREVISAN, I. B.; BURDMANN, E. de A.; SANTOS, U. de P.. **Sugarcane cutting work, risks, and health effects**. Revista de Saúde Pública, [S.L.], v. 52, p. 80, 30 ago. 2018. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA).

MARIN, M. P. de A.; MELO, G. M. de; PAULO, G. B. H. de; LABATE, L. F. M.; MIRANDA, T. B.; SCHINCARIOL, V.. **Análise de riscos e consequências em uma usina sucroalcooleira**. The Journal Of Engineering And Exact Sciences, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 174-183, 2017.

MITSUI, H. R. P.; CAMPOS, R. V. de M.; SOUZA, R. M. C. R. de. **Segurança do trabalho: identificação de possíveis riscos químicos em uma usina de açúcar e álcool**. 2010. IV SIMEPRO - Simpósio Maringaense de Engenharia de Produção. Maringá. 2010.

MORENO, V. C., COZZANI, V. **Major accident hazard in bioenergy production**. Journal Of Loss Prevention In The Process Industries, [S.L.], v. 35, p. 135-144, 2015. Elsevier BV.

MORENO, V. C., PAPASIDERO, S., SCARPONI, G. E., GUGLIELMI, D., COZZANI, V.. **Analysis of accidents in biogas production and upgrading**. Renewable Energy, [S.L.], v. 96, p. 1127-1134, 2016. Elsevier BV.

NALI, E. C.; RIBEIRO, L. B. N. M.; HORA, A. B. da. **Biorrefinaria integrada à indústria de celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade?** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, nº.43, 257-294 p. 2016.

OLIVEIRA, A. F.; GRÉ, P. L.. **A nova norma regulamentadora nº20 como sistema de gestão em segurança de processo**. 2013. 18 p. Trabalho de conclusão de curso - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Engenharia de Segurança do Trabalho. Leopoldo. 2013.

OLIVEIRA, B. C.. **Complexidade Em Biorrefinarias/ Bruna Cristina Oliveira**. 2016. 125 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro. 2016.

PIETRANGELI B.; LAURI R.. **Biogas Production Plants: A Methodological Approach for Occupational Health and Safety Improvement**, Advances in Biofuels and Bioenergy, Madhugiri Nageswara-Rao and Jaya R. Soneji, IntechOpen, 2018.

POVEDA, M. **Análise econômica e ambiental do processamento da vinhaça com aproveitamento energético**. 2014. 161 p. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente. São Paulo. 2014.

PROBIOGÁS. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás**. 147 p. Brasília. 2016.

RAMOS, A. de A.. **Ocorrência de acidentes de trabalho no setor sucroalcooleiro do Estado de Goiás no período de 2012 a 2017**. 2019. Tese (Programa 1) - Centro Universitário, UNIALFA. 2019.

REI, F. C. F.; GONÇALVES, A. F.; SOUZA, L. P. de. **ACORDO DE PARIS: reflexões e desafios para o regime internacional de mudanças climáticas**. Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, [S.L.], v. 14, n. 29, p. 81-99, 2017. Editora Dom Helder.

RODRIGUES, G. S. de S. C.; ROSS, J. L. S.. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. 272 p. EDUFU. Uberlândia. 2020.

RUMIN, C. R.; SCHMIDT, M. L. G.. **Influências das condições e organização do trabalho de uma indústria de transformação de cana-de-açúcar na ocorrência de acidentes de trabalho**. Saúde soc., São Paulo , v. 17, n. 4, p. 56-67, 2008.

RUMIN, C.; SILVA, T.. **Acidentes de trabalho no processamento industrial da cana-de-açúcar**. *Omnia Saúde*, v.13, n.2, 18-26 p., 2016.

SANTANA, V. S.; ARAÚJO FILHO, J. B.; OLIVEIRA, P. R. A.; BRANCO., A. B.. **Acidentes de trabalho: custos previdenciários e dias de trabalho perdidos**. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 40, n. 6, p. 1004-1012, 2006.

SANTOS, M. B. G.; CARVALHO, L. S.; PEDERNEIRAS, Y. M.; MADUREIRA, R. R. B.. **Riscos ocupacionais no processo de fabricação de aguardente de cana de açúcar**. Trabalho apresentado no XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2016. João Pessoa. 2016.

SCHROEDER, V., SCHALAU, B., MOLNARNE, M.. **Explosion Protection in Biogas and Hybrid Power Plants**. *Procedia Engineering*, [S.L.], v. 84, p. 259-272, 2014. Elsevier BV.

SCOPINHO, R. A.. **Controle social do trabalho no setor sucroalcooleiro: reflexões sobre o comportamento das empresas, do estado e dos movimentos sociais organizados**. *Cadernos de Psicologia social de Trabalho*, v.7, p. 11-29, 2004.

SILVA, A. F. L.. **Influência de fatores pessoais na ocorrência de acidentes de trabalho: estudo de caso em uma empresa do setor sucroalcooleiro**. 2018. 82 p. Dissertação (mestrado) - Universidade de Araraquara. Araraquara. 2018.

SILVA, F. M. da; AMORIM, F. R. de. **Análise dos riscos ambientais em uma usina sucroalcooleira no município de Santa Helena de Goiás-GO**. Universidade de Rio Verde. Rio Verde. 2015.

SILVA, J. R. da; LIMA, C. de, FREITAS, L. de; SCHOENHALS, M.; FOLLADOR, F. A. C.. **Mapeamento dos riscos presentes em uma indústria de açúcar e álcool**. Trabalho apresentado no Anais do I Seminário Internacional da Ciência, Tecnologia e Ambiente. Cascavel. 2009.

SILVA, L. M. C. da. **Plano de adequação da nova Norma Regulamentadora nº 13 para usinas sucroalcooleiras**. 2015. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2015.

SOUZA, C. R. C. **Análise e Gerenciamento de Riscos de Processos Industriais**. Disponível em: http://www.segurancaotrabalho.eng.br/download/Apostila_de_Gerenciamento_de_Riscos.pdf. Acesso em: 13/06/2021.

SOUZA, N. S. S.; CARVALHO, F. M.; FERNANDES, R. de C. P.. **Hipertensão arterial entre trabalhadores de petróleo expostos a ruído**. Cadernos de Saúde Pública, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1481-1488, 2001. FapUNIFESP (SciELO).

STOLECKA, K., RUSIN, A.. **Potential hazards posed by biogas plants**. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 135, p. 110225, 2021.

TEREZAN, A. L.. **Inventário para adequação de máquinas e equipamentos em usina de etanol conforme a norma regulamentadora nº12**. 2015. 59 p. Trabalho de conclusão do curso - Universidade Estadual de Maringá, Centro de tecnologia. Maringá. 2015.

LUZ, V. G.; ZANGIROLANI, L. T. O.; VIELA, R. A. G.; CORREA-FILHO, H. R. **Consumo alimentar e condições de trabalho no corte manual de cana de açúcar no estado de São Paulo**. Rev. Saúde Soc. São Paulo, v. 23, n. 4, p. 1316-1328, 2014.

VASCONCELOS, M. H.. **Desenvolvimento e análise econômica de modelos de biorrefinaria integrada 1G2G empregando pré-tratamento ácido diluído**. 97 p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena. 2017.

VICENTE, F. A. da C. F.. **Gestão estratégica da segurança do trabalho na área industrial de uma usina de etanol, açúcar e energia elétrica**. 121 p. Dissertação (mestrado) - Fundação Getúlio Vargas, Escola de economia. São Paulo. 2012.