

NANOTECNOLOGIA: A REVOLUÇÃO SILENCIOSA NA SEGURANÇA DO TRABALHO

Edição 123 JUN/23 SUMÁRIO / 03/07/2023

REGISTRO DOI: 10.5281/zenodo.8111113

Patrícia do Socorro Pereira Macedo Almeida¹

Jordan Del Nero²

RESUMO

A pesquisa exploratória tem como objetivo analisar a regulamentação existente em relação à nanotecnologia e seu impacto na segurança dos trabalhadores. O estudo se concentrará em examinar os desafios específicos associados à nanotecnologia, incluindo a falta de dados toxicológicos adequados para avaliar os riscos, a complexidade da caracterização dos nanomateriais e as limitações das técnicas de monitoramento existentes. Um dos principais desafios enfrentados é a falta de dados suficientes sobre os efeitos à saúde dos trabalhadores expostos a nanomateriais. A nanotecnologia é uma área relativamente nova, e ainda há muito a ser aprendido sobre os possíveis efeitos adversos à saúde que esses materiais podem causar. A falta de dados toxicológicos adequados dificulta a avaliação precisa dos riscos e a implementação de medidas de proteção eficazes. Além disso, a caracterização dos nanomateriais também é uma tarefa complexa. Suas propriedades físicas e químicas únicas exigem métodos de análise especializados e técnicas avançadas. A falta de padronização nesse campo dificulta a compreensão

completa dos nanomateriais e sua relação com os efeitos à saúde. Outro desafio é a limitação das técnicas de monitoramento disponíveis para avaliar a exposição dos trabalhadores a nanomateriais. Os métodos tradicionais de monitoramento podem não ser adequados para detectar e quantificar a presença de nanomateriais no ambiente de trabalho, devido ao seu tamanho diminuto e às suas propriedades únicas. Isso dificulta a avaliação precisa da exposição dos trabalhadores e a implementação de medidas de controle apropriadas. O estudo também se propõe a examinar as estratégias e abordagens adotadas por diferentes países e organizações internacionais para enfrentar esses desafios e garantir a segurança dos trabalhadores expostos à nanotecnologia. Isso pode incluir o desenvolvimento de regulamentações específicas, a promoção de pesquisas e estudos toxicológicos, a criação de diretrizes de boas práticas e a implementação de medidas de controle de engenharia e proteção individual. Em resumo, a pesquisa exploratória visa analisar a regulamentação existente e os desafios relacionados à segurança dos trabalhadores na área da nanotecnologia. Compreender e abordar esses desafios é essencial para garantir a proteção dos trabalhadores e promover o uso seguro e responsável da nanotecnologia na indústria.

Palavras-chaves: Nanotecnologia; Saúde do Trabalhador; Norma Regulamentadora.

ABSTRACT

The exploratory research aims to analyze existing regulations regarding nanotechnology and its impact on worker safety. The study will focus on examining the specific challenges associated with nanotechnology, including the lack of adequate toxicological data to assess risks, the complexity of characterizing nanomaterials, and the limitations of existing monitoring techniques. One of the main challenges faced is the lack of sufficient data on the health effects of workers exposed to nanomaterials. Nanotechnology is a relatively new field, and much remains to be learned about the potential adverse health effects these materials can cause. The lack of adequate toxicological data makes it difficult to accurately assess risks and implement effective protective

measures. Furthermore, the characterization of nanomaterials is also a complex task. Its unique physical and chemical properties require specialized analysis methods and advanced techniques. The lack of standardization in this field makes it difficult to fully understand nanomaterials and their relationship to health effects. Another challenge is the limited monitoring techniques available to assess workers' exposure to nanomaterials. Traditional monitoring methods may not be adequate to detect and quantify the presence of nanomaterials in the work environment due to their small size and unique properties. This makes it difficult to accurately assess worker exposure and implement appropriate control measures. The study also sets out to examine the strategies and approaches adopted by different countries and international organizations to address these challenges and ensure the safety of workers exposed to nanotechnology. This may include developing specific regulations, promoting toxicological research and studies, creating good practice guidelines, and implementing engineering control and personal protection measures. In summary, the exploratory research aims to analyze existing regulations and challenges related to worker safety in the field of nanotechnology. Understanding and addressing these challenges is essential to ensuring worker protection and promoting the safe and responsible use of nanotechnology in industry.

Keywords: Nanotechnology; Worker's health; Regulatory standard.

1. INTRODUÇÃO

Richard Feynman fez algumas contribuições expressivas para o campo da nanotecnologia, embora o termo em si tenha sido cunhado por Nório Taniguchi em 1974. Feynman antecipou muitos conceitos fundamentais da nanotecnologia em sua palestra intitulada "There's Plenty of Room at the Bottom" (Há Muito Espaço na Parte de Baixo), apresentado em dezembro de 1959 na reunião anual da American Physical Society (SOUZA, 2010).

Os primeiros estudos experimentais sobre a nanotecnologia originaram-se em 1968 quando o grupo de pesquisadores Alfred Y. Cho e John Arthur, do

laboratório Bell, apresentaram uma técnica que permitiria depositar camadas atômicas em uma superfície, a epitaxia por feixe molecular; esse foi o primeiro passo experimental para a nanotecnologia. Em 1974, N. Taniguchi cria a palavra “nanotecnologia” que significa máquinas com tolerância de menos de um micrômetro.

Em 1981 foi feito o primeiro microscópio de tunelamento (STM – Scanning Tunneling Microscopy) que facilitava ainda mais os estudos da nanotecnologia por possibilitar imagens em escala atômica, tecnologia até então considerada impossível na história da ciência. Desde então, várias descobertas importantes foram feitas como os nanotubos de carbono, por Iijima em 1991, os nanotubos revolucionaram a nanotecnologia, pois exibiram resistência mecânica muito alta e capacidade de aplicações singulares que hoje fazem parte de vários materiais cujas aplicações variam de bicicletas a condutores e semicondutores de circuitos eletrônicos (FULEKAR, 2010).

Desde a afirmação visionária de Richard Feynman em 1959 a respeito da nanotecnologia, e a primeira aplicação nos anos 80, é notória a ascensão de descobertas e aplicações dessa nova tecnologia. A utilização da nanociência em diversas áreas alterou profundamente o cenário atual do mundo, devido às suas vantagens sobre os produtos convencionais (SANTOS, 2015).

As dificuldades colocadas pela transformação tecnológica, a chamada “Quarta Revolução Industrial”, e a consequente ruptura histórica com o pós-modernismo. Isto marca uma virada na história, inaugurando uma vasta gama de avanços tecnológicos, incluindo, mas não limitados à inteligência artificial, robôs, a Internet das Coisas, veículos autônomos, impressão 3D, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia, computação quântica e nanotecnologia (o foco desta pesquisa).

Diante da evolução nanotecnologia, surge inumeráveis oportunidades e avanços no sentido de trazer melhorias a qualidade de vida e, também, para contribuir com a preservação do meio ambiente. Porém, como acontece em todas as áreas envolvendo tecnologias que utilizam intensamente materiais sintéticos e

substâncias químicas, a nanotecnologia traz consigo, e isso é inerente, a potencialidade de riscos ao meio ambiente e a saúde humana.

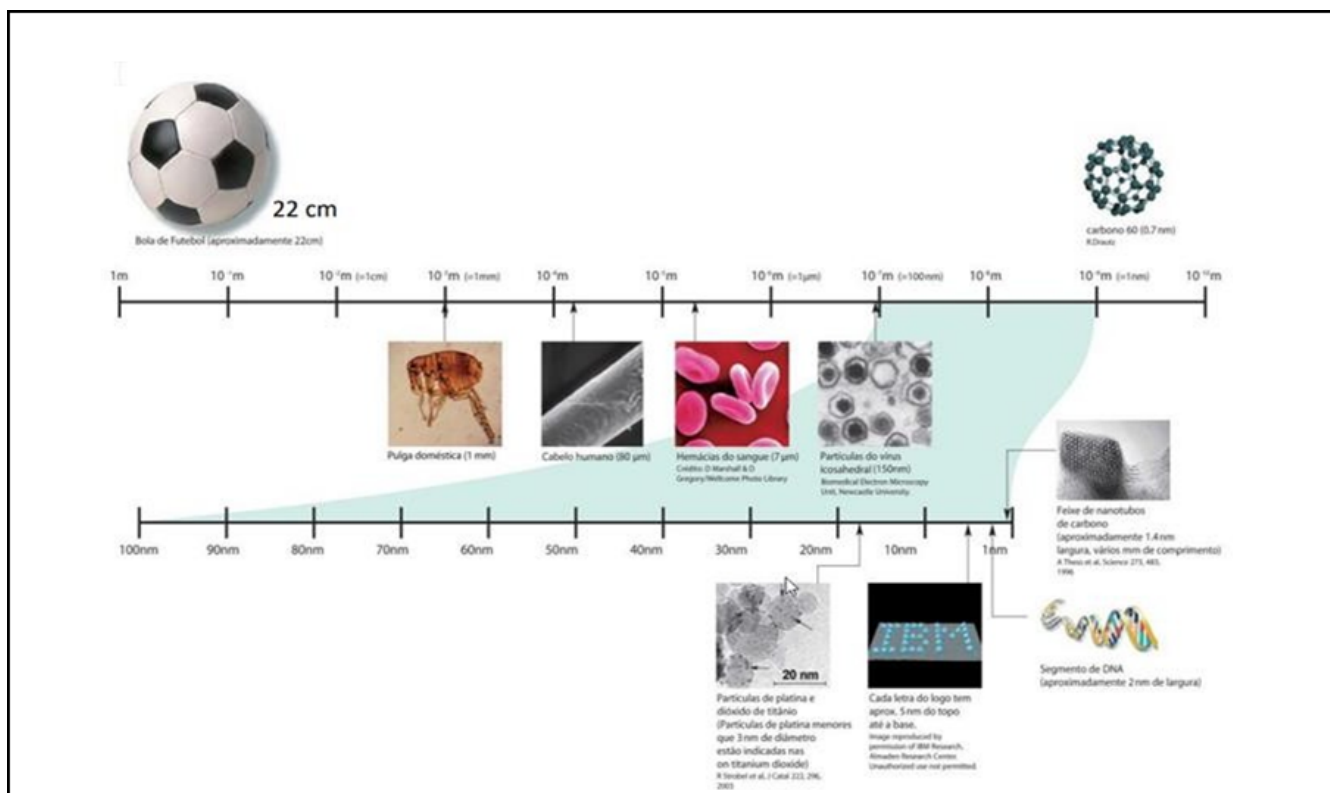
Pois, a manipulação da matéria em escala nanométrica é um dos principais focos das pesquisas em desenvolvimento tecnológico da atualidade.

Para compreender a referida escala, é necessário saber que o prefixo “nano”, com origem no grego, significa “anão” (DA RÓZ et al, 2015, p. 3). A nano escala indica que “1 nanômetro (nm) nada mais é que 1 bilionésimo de 1 metro ($1\text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$ metros)”. Pode-se exemplificar a dimensão de um “nano” de diversas formas, o tamanho é equivalente a aproximadamente 100 mil vezes menor do que um fio de cabelo, 30 mil vezes menor do que um dos fios de uma teia de aranha ou, 700 vezes menor que um glóbulo vermelho (BORJES; GOMES; ENGELMANN, 2014, p. 6-7).

Ou ainda, para efeito de comparação: “a relação de tamanho entre uma bola de futebol e o planeta Terra, é aproximadamente a mesma entre a bola e uma esfera de 60 átomos de carbono conhecida como fulereno C-60 (...)”.

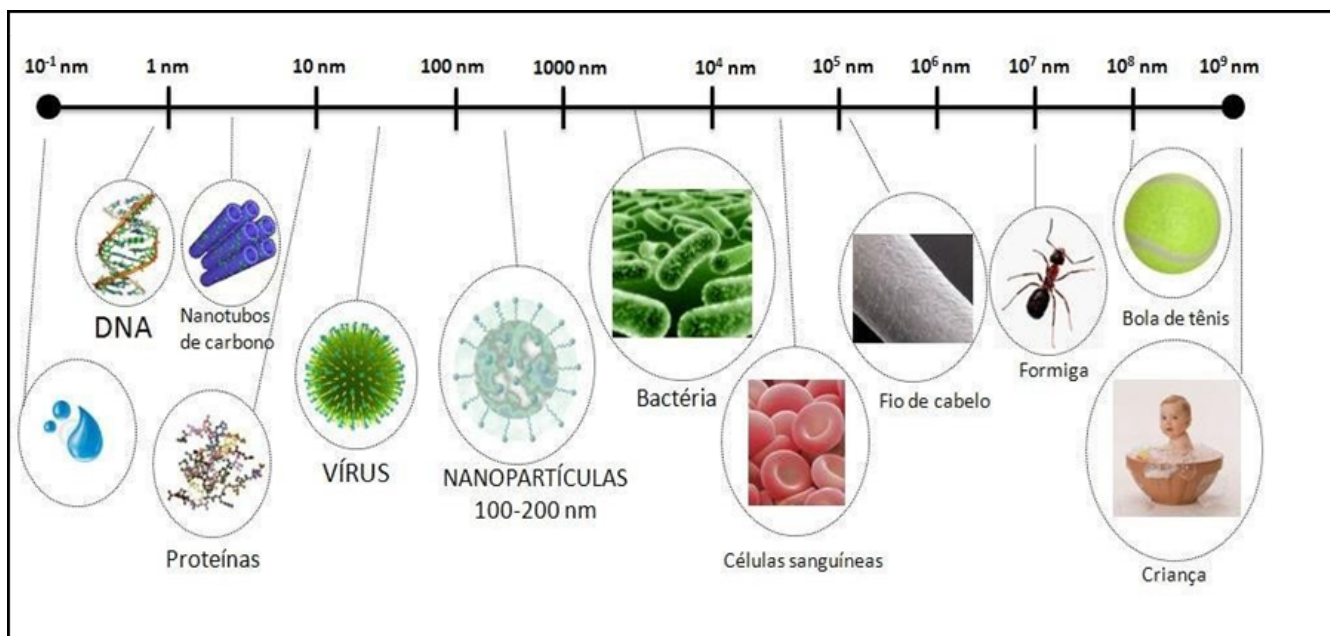
Em menor escala, um vírus comum tem entre 45 nm e 200 nm” (DA RÓZ et al, 2015, p. 4). As duas figuras a seguir possuem comparações de escala a partir da escala manométrica.

Figura 1: Escala nanométrica.



Fonte: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties (Royal Society).

Figura 2: Escala nanométrica – Outras Comparações



Fonte: Cosmetologia in radice

Neste sentido, apesar de representar um assunto recente, “o tema nanotecnologia vem sendo utilizado e estudado há muito tempo, mas sem o conhecimento da relação entre escala, produto e efeito final” (DA RÓZ et al, 2015,

p. 6). Significa dizer que o homem manipulava a matéria, porém não sabia que os resultados obtidos eram consequência da manipulação nanométrica.

Dada a escassez de conhecimentos e a exposição a materiais nanométricos pode ocorrer que em diferentes etapas, desde a síntese e produção até a utilização e descarte. Embora os benefícios e as oportunidades fornecidas pela nanotecnologia sejam inegáveis, é essencial garantir uma proteção adequada aos trabalhadores que lidam com esses materiais, a fim de minimizar os riscos à saúde e assegurar um ambiente de trabalho seguro (MARTINEZ, 2013). Nesse contexto, a regulamentação desempenha um papel crucial na implementação de medidas de segurança e na definição de diretrizes para a proteção dos trabalhadores. A falta de conhecimento científico completo sobre os efeitos dos nanomateriais na saúde humana, combinados à velocidade com que novos nanomateriais são apresentados e apresentados no mercado, torna a regulamentação um desafio complexo e em constante evolução (MOREIRA, 2022).

O objetivo da pesquisa é analisar a regulamentação atual relacionada à nanotecnologia e à segurança do trabalhador, buscando compreender como as medidas de proteção estão sendo implementadas e quais são as lacunas existentes. Além disso, serão exploradas as questões éticas, jurídicas e sociais que permeiam a regulamentação da nanotecnologia, a fim de fornecer uma visão abrangente dos desafios enfrentados nesse campo.

Ao examinar criticamente as abordagens regulatórias adotadas por diferentes países e organizações, espera-se identificar as melhores práticas e recomendações para aprimorar a proteção dos trabalhadores expostos a nanomateriais. Estas podem fornecer benefícios para as políticas existentes aprimoradas e contribuir para o desenvolvimento de estratégias regulatórias mais eficazes, que garantem um ambiente de trabalho seguro e saudável no contexto da nanotecnologia (VIEGAS, 2018).

2. JUSTIFICATIVA

No Brasil, existe um certo desconhecimento sobre nanomateriais, principalmente seus usos e aplicações por muitas empresas, assim como sobre legislação específica que contemple o uso destes materiais em processos industriais e carência de estudos que possam nortear tanto as empresas quanto os profissionais da área de segurança e saúde no trabalho sobre uso de matérias primas em escala nanométrica (HOHENDORFF; COIMBRA; ENGELMANN, 2015). Atualmente, o uso de materiais em escala nanométrica não estão previstos nas Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, conforme redação dada pela Lei n.º 6.514, de 22 de dezembro de 1977 do Ministério de Trabalho e Emprego, Portaria 3. 214/78 de 8 de junho de 1978, estabelecendo as Normas Regulamentadoras, das quais destaca – se para fins de comparação de limites de exposição ocupacional a NR 15 – Atividades e Operações Insalubres, não estabelece LT – Limite de Tolerância ou parâmetros para enquadramento qualitativo de tais materiais.

A NR-15 estabelece as atividades que devem ser consideradas insalubres, gerando direito ao adicional de insalubridade aos trabalhadores. É composta de uma parte geral e mantém 13 anexos, que definem os Limites de Tolerância para agentes físicos, químicos e biológicos, quando é possível quantificar a contaminação do ambiente, ou listando ou mencionando situações em que o trabalho é considerado insalubre qualitativamente. (FUNDACENTRO, 2023).

No campo da segurança e saúde no trabalho, as discussões sobre as nanotecnologias, a priori, tem sido realizada pela ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que, através de seu Edital de Chamamento Público nº 2, datado de 21/05/2018, solicitou a apresentação de propostas pela comunidade acadêmico-científica, industrial e terceiro setor de estudos experienciais para servidores da Anvisa, no que tange a diversas práticas emergentes, dentre elas o uso de nanotecnologias em materiais de uso em saúde (ANVISA, 2018).

Para uma grande empresa, acompanhar esse desenvolvimento pode significar maiores lucros no futuro. Se por um lado esse avanço científico trará benefícios as empresas, por outro vem deixando pesquisadores da área de saúde e

segurança dos trabalhadores em alerta quanto aos riscos dessas novas tecnologias.

3. OBJETIVO GERAL

A Ciência e a tecnologia das nanoestruturas é uma área interdisciplinar de intensa pesquisa no mundo inteiro. O uso amplo e diversificado de nanomateriais na indústria dificulta estimativas sobre o número de trabalhadores expostos aos efeitos ambientais e de saúde dessas tecnologias.

Ainda há pouco conhecimento sobre os perigos, mas estudos técnicos apontam que estão associados a insumos e produtos intermediários utilizados na indústria, como dióxido de titânio, fulerenos, nanopartículas de ouro, nanopartículas de prata, nanotubos de carbono e polímeros, e a produtos finais, como chips eletrônicos, displays, filtro solar, roupas inteligentes e sensores gustativos, entre outros (FERREIRA, 2022).

Os nanotubos de carbono, por exemplo, são úteis para indústrias de materiais plásticos, nas conduções térmica e elétrica, na construção civil, na produção de carros e aeronaves e até mesmo na medicina. No entanto, alguns tipos de nanotubos de carbono de paredes múltiplas possuem potencial cancerígeno semelhante ao do amianto (DIAS, 2022).

Desta forma, este estudo foi elaborado baseando-se em revisão bibliográfica de publicações, relatórios de pesquisas recentes realizadas por instituições e informações sobre empresas de todo o mundo. Desta revisão resultou a presente descrição sobre o tema e o exemplo prático apresentado. Ressalta-se que o conteúdo deste trabalho não pretende produzir um estudo completo sobre o tema. Apenas apresenta-se um recorte que exemplifica a potencialidade desta nova tecnologia.

3.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo do trabalho foi de realizar um estudo teórico sobre a necessidade de regulamentações próprias para proteção dos trabalhadores, frente ao uso de

nanotecnologias no ambiente de trabalho, o que os tornam vulneráveis.

4. METODOLOGIA

O estudo realizado teve como objetivo investigar como a nanotecnologia está sendo tratada no âmbito do trabalho no Brasil, com foco na gestão da saúde e segurança do trabalhador. O método de pesquisa adotado foi uma análise qualitativa, iniciada com um estudo bibliográfico que envolveu a consulta de artigos e livros publicados sobre o assunto, com a internet sendo a principal fonte de pesquisa.

Durante o estudo, foi observado que no Brasil não há uma regulamentação específica para a nanotecnologia, no sentido tradicional do termo, ou seja, não existe uma legislação específica que trate dos aspectos relacionados a essa tecnologia. A ausência de uma regulação específica expõe o trabalhador a riscos, uma vez que não há diretrizes claras e normas de segurança para lidar com os potenciais perigos associados à nanotecnologia no ambiente de trabalho (EBERT, 2020).

A falta de uma regulação adequada pode dificultar a avaliação e gestão dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia, o que pode resultar em exposição inadequada dos trabalhadores a materiais e substâncias nanométricas. Isso pode levar a possíveis efeitos adversos na saúde dos trabalhadores, uma vez que ainda há muitas incertezas sobre os impactos da nanotecnologia no corpo humano (LOURO, 2013).

A ausência de regulação específica para a nanotecnologia destaca a necessidade de uma revisão e atualização das normas e legislações existentes relacionadas à saúde e segurança do trabalho, a fim de incorporar diretrizes e requisitos específicos para a proteção dos trabalhadores expostos à nanotecnologia. Essas diretrizes podem incluir limites de exposição ocupacional, práticas seguras de trabalho, requisitos de monitoramento e controle de riscos, entre outros (MOREIRA, 2022).

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diante a falta de regulamentação específica e os desafios relacionados à nanotecnologia no contexto da saúde e segurança do trabalhador pode ser embasada em diversas fontes e conceitos relevantes. A seguir, destacarei alguns pontos que podem ser considerados na fundamentação teórica sobre o tema:

Nanotecnologia e seus riscos: É importante abordar os princípios e conceitos fundamentais da nanotecnologia, destacando suas características e propriedades singulares que podem apresentar riscos à saúde dos trabalhadores.

Explorar os efeitos potenciais dos nanomateriais no organismo humano, como sua capacidade de atravessar barreiras biológicas, interagir com células e tecidos, e potenciais efeitos tóxicos e inflamatórios (VON HOHENDORFF, 2013)

Saúde e segurança ocupacional: Embasar-se em conceitos e teorias relacionadas à saúde e segurança ocupacional, como a identificação, avaliação e controle de riscos ocupacionais. Destacar a importância de uma abordagem preventiva para proteger os trabalhadores, a responsabilidade do empregador na criação de ambientes de trabalho seguros, a necessidade de capacitação dos trabalhadores e o uso adequado de equipamentos de proteção individual (NEVES, 2017)

Lacuna regulatória: Explorar o conceito de lacuna regulatória no contexto da nanotecnologia, abordando a ausência de regulamentação específica para a gestão dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia no Brasil. Discutir as possíveis consequências dessa lacuna, como a falta de diretrizes claras, padrões de segurança e monitoramento adequado, bem como o impacto na saúde e segurança dos trabalhadores (CONSALES, 2022). Estratégias internacionais: Investigar as abordagens adotadas por outros países e organizações internacionais para enfrentar os desafios da nanotecnologia no contexto da saúde e segurança ocupacional.

Examinar regulamentações existentes em outros países, iniciativas de pesquisa e desenvolvimento de boas práticas, estratégias de monitoramento e controle de riscos, e exemplos de colaboração entre diferentes partes interessadas (PINTO, 2022).

Necessidade de atualização regulatória: Embasar-se em argumentos e discussões sobre a importância de atualizar as regulamentações existentes para incorporar requisitos específicos relacionados à nanotecnologia. Destacar a necessidade de desenvolver normas regulatórias que abordem a caracterização, avaliação, controle e monitoramento dos riscos ocupacionais relacionados à nanotecnologia. Explorar o papel das agências reguladoras, instituições de pesquisa e trabalho conjunto entre setores público e privado na elaboração e implementação de regulamentações eficazes (MOREIRA, 2022).

Esses pontos de fundamentação teórica podem ajudar a embasar a análise e discussão sobre a falta de regulamentação específica, os desafios e as possíveis soluções para a gestão da saúde e segurança do trabalhador no contexto da nanotecnologia.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Normas Regulamentadoras, do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil até o momento, são em número de 38, sendo duas já revogadas (NR-2 e 27). A NR-15, em seus 14 anexos, sendo um revogado (anexo 4) regulamenta os critérios de caracterização de atividades e operações insalubres. Assim, o subitem 15.1 da referida norma determina que são consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem:

- Acima dos limites de tolerância previstos nos anexos 1, 2, 3, 5, 11 e 12;
- Nas atividades mencionadas nos anexos 6, 13 e 14;
- Comprovadas por meio de laudo de inspeção do local de trabalho, constantes dos anexos 7, 8, 9 e 10.

Embora o art. 189 da CLT estabelece que a insalubridade ocorrer quando a exposição ao agente superar o limite de tolerância, observa-se que a norma do MTE estabeleceu três critérios para a caracterização da insalubridade: avaliação quantitativa, qualitativa e inerentes à atividade.

A. Avaliação Quantitativa

Nos anexos 1, 2, 3, 5, 8, 11 e 12 estão definidos os limites de tolerância para os agentes agressivos fixados em razão da natureza, da intensidade e do tempo de exposição. Nesse caso, o perito terá de medir a intensidade ou a concentração do agente e compará-lo com os respectivos limites de tolerância; a insalubridade será caracterizada somente quando o limite for ultrapassado. Para tanto, o perito deve utilizar todas as técnicas e os métodos estabelecidos pelas normas da Higiene Ocupacional juntamente com aquelas definidas nos mencionados anexos.

E importante salientar que praticamente todos os limites fixados foram baseados nos limites de tolerância estabelecidos, em 1977, pela ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), devidamente corrigidos para a jornada de trabalho no Brasil, e permanecem, na sua maioria, inalterados.

B. Avaliação Qualitativa

Nos anexos 7, 9, 10 e 13, a NR-15 estabelece que a insalubridade será comprovada pela inspeção realizada por perito no local de trabalho; ou seja, nesses anexos, o MTE não fixou limites de tolerância para os agentes agressivos, embora as normas internacionais — incluindo a ACGIH — os tenham estabelecido para praticamente todos os agentes. Assim, na caracterização da insalubridade pela avaliação qualitativa, o perito deverá analisar detalha em exposição abaixo do limite, quando for considerada a média ponderada, observando-se, é claro, as situações que possuem limites “valor-teto” fixados em normas internacionais.

C. Avaliação Qualitativa de Riscos Inerentes a Atividade

O subitem 15.1.3 da NR-15 estabelece que serão insalubres as atividades mencionadas nos anexos 6, 13 e 14.

O fato de não haver meios de se eliminar ou neutralizar a insalubridade significa que esta é inerente à atividade. Assim, por exemplo, no trabalho em contato com pacientes em hospitais (anexo 14 — agentes biológicos), o risco de contágio não pode ser totalmente eliminado com medidas no ambiente ou com o uso de EPI (Equipamento de Proteção individual).

O anexo 13 (incluído no subitem 15.1.3 da NR-15), no entanto, estabelece, no seu caput, que a caracterização da insalubridade será por inspeção realizada no local de trabalho.

Entretanto, os anexos 11, 12 e 13 que serão esmiuçados, por estarem correlacionados com a pesquisa.

- **Anexo 11** – O anexo 11 dispõe que a caracterização de insalubridade ocorrerá quando forem ultrapassados os limites de tolerância constantes em seu Quadro 1. E que todos os valores fixados no Quadro 1 são válidos para absorção apenas por via respiratória. Logo, a insalubridade só pode ser caracterizada para exposição respiratória. A indicação de absorção pela pele apenas deve ser utilizada como um indicativo preventivo para proteção dos trabalhadores.

Quadro 1 – Tabela de limites de tolerância

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m3**	
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	médio
Acetato de éter monoetilico de etileno glicol (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etóxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Astfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Ácido acético			8	20	médio
Ácido cianídrico		+	8	9	máximo
Ácido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Ácido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Ácido etanóico (vide ácido acético)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Acido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Acido fórmico			4	7	médio
Acido metanóico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrlonitrila		+	16	35	máximo
Alcool isoamílico			78	280	mínimo
Alcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Alcool isobutílico			40	115	médio
Alcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Alcool terc-butílico			78	235	médio
Alcool etílico			780	1480	mínimo
Alcool furfurílico		+	4	15,5	médio
Alcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Alcool metílico		+	156	200	máximo
Alcool n-propílico		+	156	390	médio
Alcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Amônia			20	14	médio
Anidro sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-
Anilina		+	4	15	máximo
Argônio			Asfixante	simples	-
Arsina (arsenamina)			0,04	0,16	máximo
Brometo de etila			156	695	máximo
Brometo de metila		+	12	47	máximo
Bromo			0,08	0,6	máximo
Bromoetano (vide brometo de etila)			-	-	-
Bromofórmio		+	0,4	4	médio
Bromometano (vide brometo de metila)			-	-	-
1,3 Butadieno			780	1720	médio
n-Butano			470	1090	médio
n-Butano (vide álcool n-butílico)			-	-	-
sec-Butanol (vide álcool sec-butílico)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ^{3**}	
Butanona (vide metil etil cetona)			-	-	-
1-Butanotiol (vide butil mercaptana)			-	-	-
n-Butilamina	+	+	4	12	máximo
Butil cellosolve		+	39	190	médio
n-Butil mercaptana			0,4	1,2	médio
2-Butóxi etanol (vide butil cellosolve)			-	-	-
Cellosolve (vide 2-etóxi etanol)			-	-	-
Chumbo			-	0,1	máximo
Cianeto de metila (vide acetonitrila)			-	-	-
Cianeto de vinila (vide acrilonitrila)			-	-	-
Cianogênio			8	16	máximo
Ciclohexano			235	820	médio
Ciclohexanol			40	160	máximo
Ciclohexilamina		+	8	32	máximo
Cloreto de carbonila (vide fosgênio)			-	-	-

AGENTES QUIMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ^{3**}	
Cloreto de etila			780	2030	médio
Cloreto de fenila (vide cloro benzeno)			-	-	-
Cloreto de metila			78	165	máximo
Cloreto de metileno			156	560	máximo
Cloreto de vinila	+		156	398	máximo
Cloreto de vinilideno			8	31	máximo
Cloro			0,8	2,3	máximo
Clorobenzeno			59	275	médio
Clorobromometano			156	820	máximo
Cloroetano (vide cloreto de etila)			-	-	-
Cloroetilico (vide cloreto de vinila)			-	-	-
Clorodifluometano (freon 22)			780	2730	mínimo
Clorofórmio			20	94	máximo
1-Cloro 1-nitropropano			16	78	máximo
Cloroprene		+	20	70	máximo
Cumeno		+	39	190	máximo
Decaborano		+	0,04	0,25	máximo
Demeton		+	0,008	0,08	máximo

AGENTES QUÍMICOS	Valor Teto	Absorção também p/ pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ³ **	
Diamina (vide hidrazina)			-	-	-
Diborano			0,08	0,08	máximo
1,2-Dibromoetano		+	16	110	médio
o-Diclorobenzeno			39	235	máximo
Diclorodifluormetano (freon 12)	+		780	3860	mínimo
1,1 Dicloroetano			156	640	médio
1,2 Dicloroetano			39	156	máximo
1,1 Dicloroetileno (vide cloreto de vinilideno)			-	-	-
1,2 Dicloroetileno			155	615	médio
Diclorometano (vide cloreto de metilino)			-	-	-
1,1 Dicloro-1-nitroetano	+		8	47	máximo
1,2 Dicloropropano			59	275	máximo
Diclorotetrafluoretano (freon 114)			780	5460	mínimo
Diethyl amina			20	59	médio
Diethyl éter (vide éter etílico)			-	-	-
2,4 Disocianato de tolueno (TDI)	+		0,016	0,11	máximo
Diisopropilamina		+	4	16	máximo

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ^{3**}	
Dimetilacetamida		+	8	28	máximo
Dimetilamina			8	14	médio
Dimetilformamida			8	24	médio
I,I Dimetil hidrazina		+	0,4	0,8	máximo
Dióxido de carbono			3900	7020	mínimo
Dióxido de cloro			0,08	0,25	máximo
Dióxido de enxofre			4	10	máximo
Dióxido de nitrogênio	+		4	7	máximo
Dissulfeto de carbono		+	16	47	máximo
Estibina			0,08	0,4	máximo
Estireno			78	328	médio
Etanol (vide acetaldeído)			–	–	–
Etano			Asfixiante	simples	–
Etanol (vide etílico)			–	–	–
Etanotiol (vide etil mercaptana)			–	–	–
Eter decloroetilico		+	4	24	máximo
Eter etílico			310	940	médio
Eter monobutilico do etileno glicol (vide butil cellosolve)			–	–	–
Eter monoetilico do etileno glicol (vide cellosolve)			–	–	–

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m ^{3**}	
Eter monometilico do etileno glicol (vide metil cellosolve)			–	–	–
Etilamina			8	14	máximo
Etilbenzeno			78	340	médio
Etileno			Asfixiante	simples	–
Etilenoimina		+	0,4	0,8	máximo
Etil mercaptana			0,4	0,8	médio
n-Etil morfina		+	16	74	médio
2-Etoxi-etanol		+	78	290	médio
Fenol		+	4	15	máximo
Fluortriclorometano (freon 11)			780	4370	médio
Formaldeído (fomol)	+		1,6	2,3	máximo
Fostina (fosfamina)			0,23	0,3	máximo
Fosgênio			0,08	0,3	máximo
Freon 11 (vide flortriclorometano)			–	–	–
Freon 12 (vide diclorodifluormetano)			–	–	–
Freon 22 (vide clorodifluormetano)			–	–	–
Freon 113 (vide 1,1,2, triclora-1,2,2-trifluoretano)			–	–	–

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m*	
Freon 114 (vide dechlorotetrafluoretano)			–	–	–
Gás amoníaco (vide amônia)			–	–	–
Gás carbônico (vide dióxido de carbono)			–	–	–
Gás cianídrico (vide ácido cianídrico)			–	–	–
Gás clorídrico (vide ácido clorídrico)			–	–	–
Gás sulfídrico			8	12	máximo
Hélio			Asfixiante	simples	–
Hidrazina		+	0,08	0,08	máximo
Hidreto de antimônio (vide estibina)			–	–	–
Hidrogênio			Asfixiante	simples	–
Isobutanol (vide álcool isobutílico)			–	–	–
Isopropilamina			4	9,5	médio
Isopropil benzeno (vide cumeno)			–	–	–
Mercurio (todas as formas exceto orgânicas)			–	0,04	máximo
Metacrilato de metila			78	320	mínimo
Metano			Asfixiante	simples	–
Metanol (vide álcool metílico)			–	–	–

AGENTES QUIMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			Ppm*	mg/m3**	
Oxido nítrico (NO)			20	23	máximo
Oxido nitroso (N ₂ O)			Asfixiante	simples	-
Ozona			0,08	0,16	máximo
Pentaborano			0,004	0,008	máximo
n-Pentano		+	470	1400	mínimo
Percloroetileno			78	525	médio
Piridina			4	12	médio
n-propano			Asfixiante	simples	-
n-Propanol (vide álcool n-propílico)			-	-	-
iso-Propanol (vide álcool isopropílico)			-	-	-
Propanona (vide acetona)			-	-	-
Propileno			Asfixiante	simples	-
Propileno imina		+	1,6	4	máximo
Sulfato de dimetila	+	+	0,08	0,4	máximo
Sulfeto de hidrogênio (vide gás sulfídrico)			-	-	-
Systox (vide demeton)			-	-	-
1,1,2,2-Tetrabromoetano			0,8	11	médio
Tetracloroeto de carbono		+	8	50	máximo

AGENTES QUÍMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			Ppm*	mg/m3**	
Tetracloreto de etano		+	4	27	máximo
Tetracloreto de etileno (vide percloroetileno)			-	-	-
Tetrahidrofurano			156	460	máximo
Tolueno (toluol)		+	78	290	médio
Tolueno-2,4-diisocianato (TDI) (vide 2,4 diisocianato de tolueno)			-	-	-
Tribromometano (vide bromoformio)			-	-	-
Tricloreto de vinila (vide 1,1,2 tricloroetano)			-	-	-
1,1,1 Tricloroetano (vide metil cloroformio)			-	-	-
1,1,2 Tricloroetano		+	8	35	médio
Tricloroetileno			78	420	máximo
Triclorometano (vide cloroformio)			-	-	-
1,2,3 Tricloropropano			40	235	máximo
1,1,2 Tricloro-1,2,2 trifluoreto (freon 113)			780	5930	médio
Trietilamina			20	78	máximo
Trifluoromonobromometano			780	4760	médio
Vinilbenzeno (vide estireno)			-	-	-
Xileno (xilol)			78	340	médio

Fonte: NR15 – Ministério do Trabalho e Emprego

- **Anexo 12** – O anexo 12 dispõe das poeiras minerais específicas, como: Amianto/asbesto; Manganês e seus compostos e Quartzo ou sílica livre cristalizada. Os trabalhadores podem ter exposição ao amianto/asbesto ao lidarem com telhas de casas antigas, podendo causar até problemas como câncer. Já o manganês está relacionado a metalurgia e produção de pilhas e baterias. O quartzo ou sílica livre cristalizada está ligada ao ramo de construção civil, podendo causar danos aos pulmões.
- **Anexo 13** – O anexo 13 dispõe de algumas atividades que envolvem certos agentes químicos que são consideradas insalubres a partir da inspeção realizada no local de trabalho, sem seguir limites de tolerância previamente definidos. Alguns deles são: Arsênico; Carvão; Chumbo; Cromo; Fósforo; Hidrocarbonetos e outros compostos de carbono; Silicatos e Substâncias cancerígenas.

D. Limites de Tolerância

O limite de tolerância é um indicativo da concentração ou intensidade máxima que um trabalhador pode ficar exposto a certos agentes. A NR-15 (2021) entende por limites de tolerância, de acordo com o item 15.1.5, “a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.”

Os parâmetros dispostos na NR-15, utilizados para comparação dos valores obtidos na avaliação quantitativa, correspondem aos limites de tolerância ou exposição. Ou seja, caso o valor obtido na avaliação quantitativa estiver acima do limite de tolerância, o responsável (empregador) deverá aplicar medidas corretivas no ambiente de trabalho, a fim de extinguir ou reduzir os riscos, tornando-os aceitáveis, ficando abaixo do valor limite (CAMISASSA, 2015). As medidas corretivas devem ocorrer, por parte do empregador, de acordo com o item 15.4.1. A eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer:

- A) com a adoção de medidas de ordem geral que conservem o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância;
- B) com a utilização de equipamento de proteção individual (NR-15, 2021).

Se mesmo após as medidas de redução de insalubridade, a mesma persistir no ambiente, restará caracterizar a atividade como sendo insalubre, sendo obrigatório o pagamento de adicional de insalubridade. Uma vez eliminada o risco, descaracterizando a atividade como insalubre, o pagamento de adicional poderá ser suspenso (CAMISASSA, 2015).

A NR 15 estabelece, em seus Anexos 11, 12 e 13, os valores limites da concentração do agente químico para os quais a maioria dos trabalhadores poderia permanecer exposta 8 horas diárias e 48 horas semanais durante toda a vida laboral, sem apresentar nenhum sintoma de doenças. Os valores apresentados especificam valores calculados em função da exposição média no tempo (média ponderada com um valor máximo especificado), valores teto, asfixiantes simples e indicação de absorção também pela pele (PEIXOTO, 2013).

LIMITE DE TOLERÂNCIA MÉDIA PONDERADA

Refere-se à concentração média ponderada presente durante a jornada de trabalho. Permite que a concentração ultrapasse o limite durante um determinado período, desde que seja compensado pela exposição a valores menores, determinando que, na média, o valor que abaixo do limite de tolerância

$$LT = \frac{(C_1 \times t_1) + (C_2 \times t_2) + \dots + (C_n \times t_n)}{(\text{tempo total})}$$

Onde: C1, C2, ..., Cn = concentração em cada exposição (ppm ou mg/m³) t1, t2, ..., tn = tempo de duração da exposição ao dado nível (min ou hora) tempo total = tempo de duração da jornada (min ou hora), ou seja, t1 + t2 + ... + tn.

Entretanto, esses valores acima do limite de tolerância não deverão ultrapassar, em nenhum momento da jornada, um valor denominado de valor máximo. O valor máximo é calculado pela seguinte expressão (NR 15):

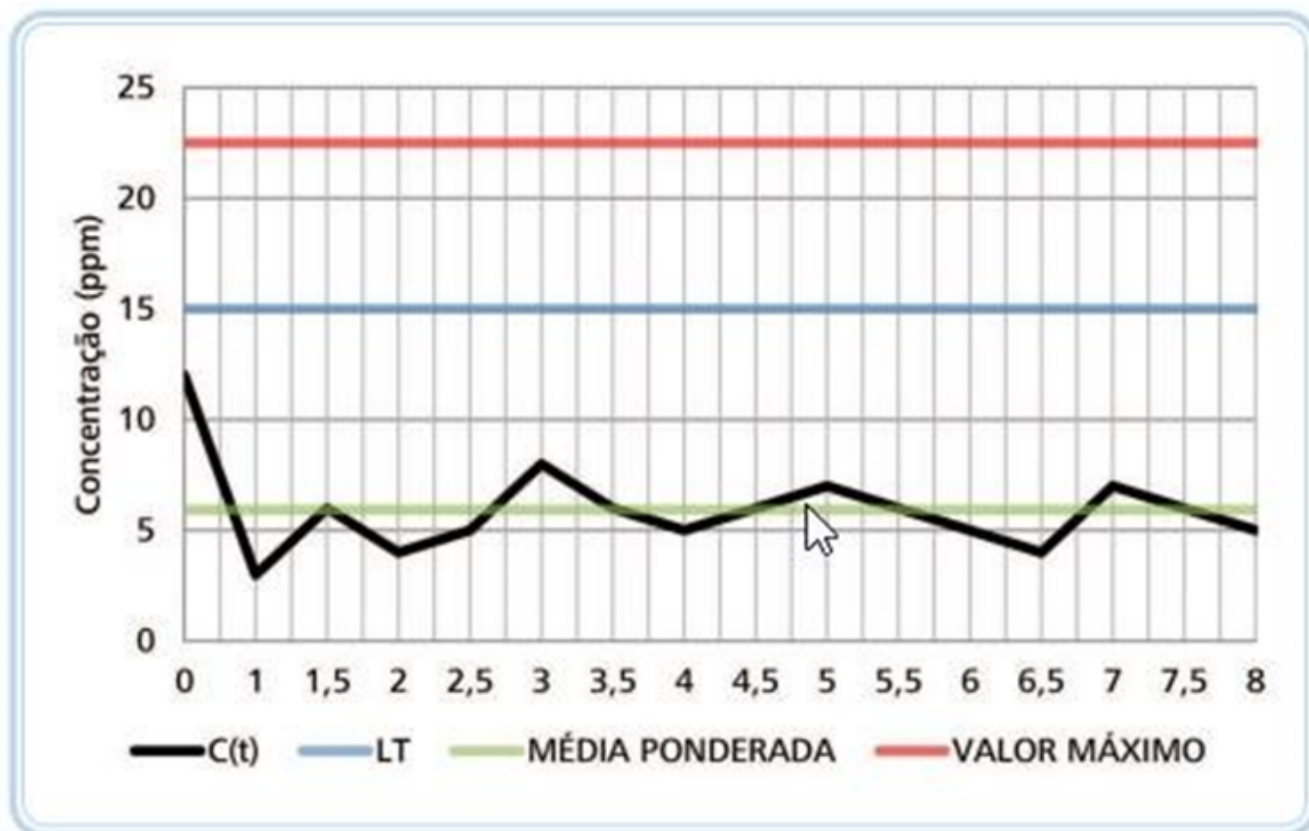
$$\text{Valor máximo} = LT \times FD$$

Onde: LT = limite de tolerância para o agente químico, segundo o Quadro 1 do Anexo 11 da NR 15 FD = fator de desvio, segundo definido no Quadro 2 do Anexo 11 da NR 15.

ANÁLISE SOBRE OS LIMITES DE TOLERÂNCIA MÉDIA PONDERADA

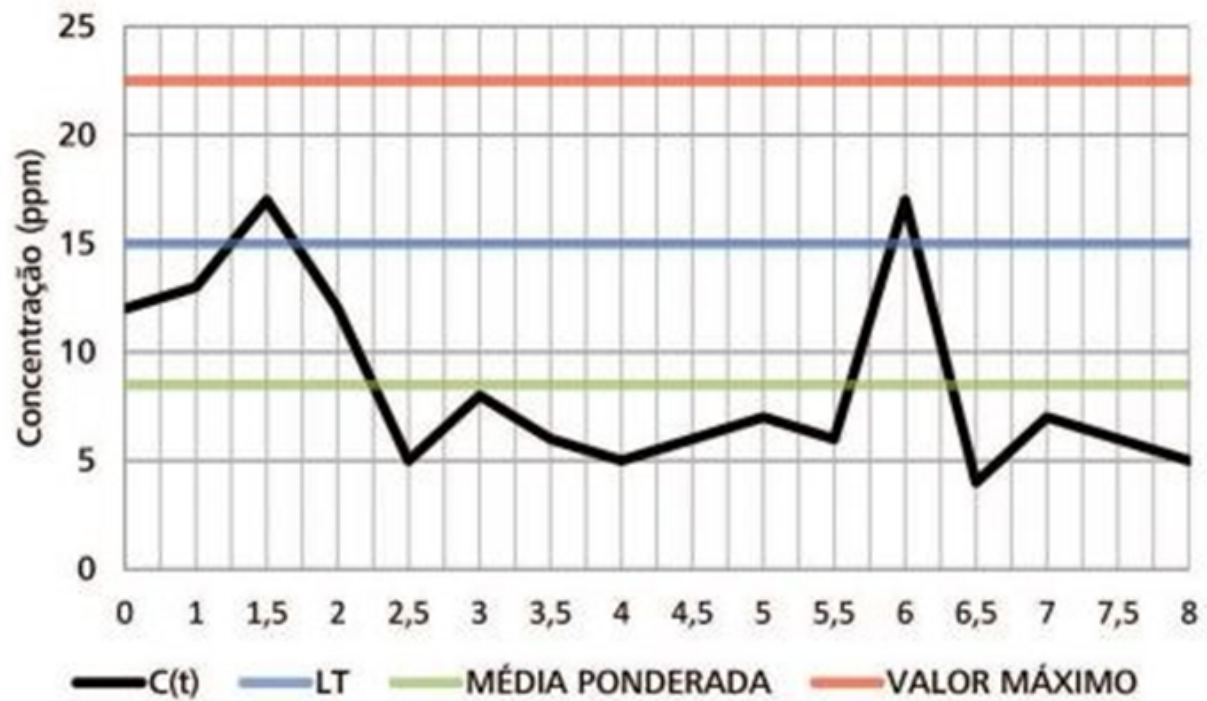
Nos gráficos 4, 5, 6, 7 e 8 apresentaremos uma série de exemplos que esclarecerão um pouco mais sobre os limites de exposição para substâncias cujo limite é avaliado por média ponderada. Partiremos de uma exposição hipotética onde a substância possui um LT igual a 15 ppm e um valor máximo igual a 22,5 ppm (15 ppm × 1,5).

Figura 3: Exposição abaixo do limite de tolerância



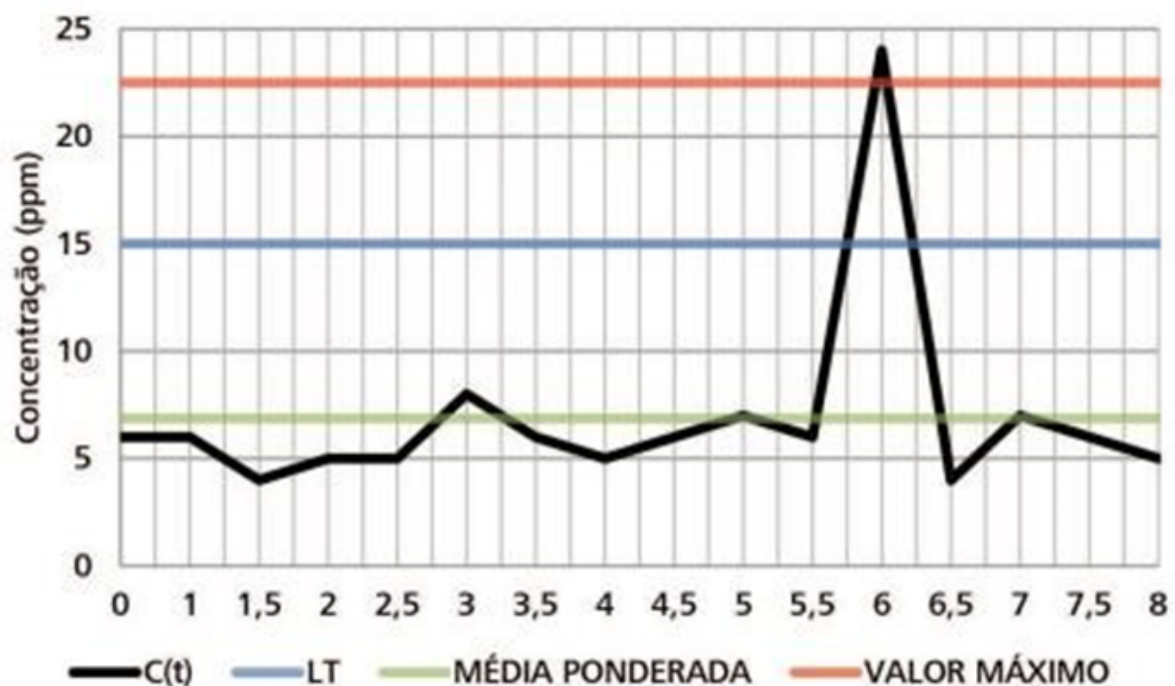
Fonte: CTISM

Figura 4: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois apesar de alguns valores ultrapassarem o LT, a médiaponderada ficou abaixo do LT e nenhum valor atingiu o valor máximo.



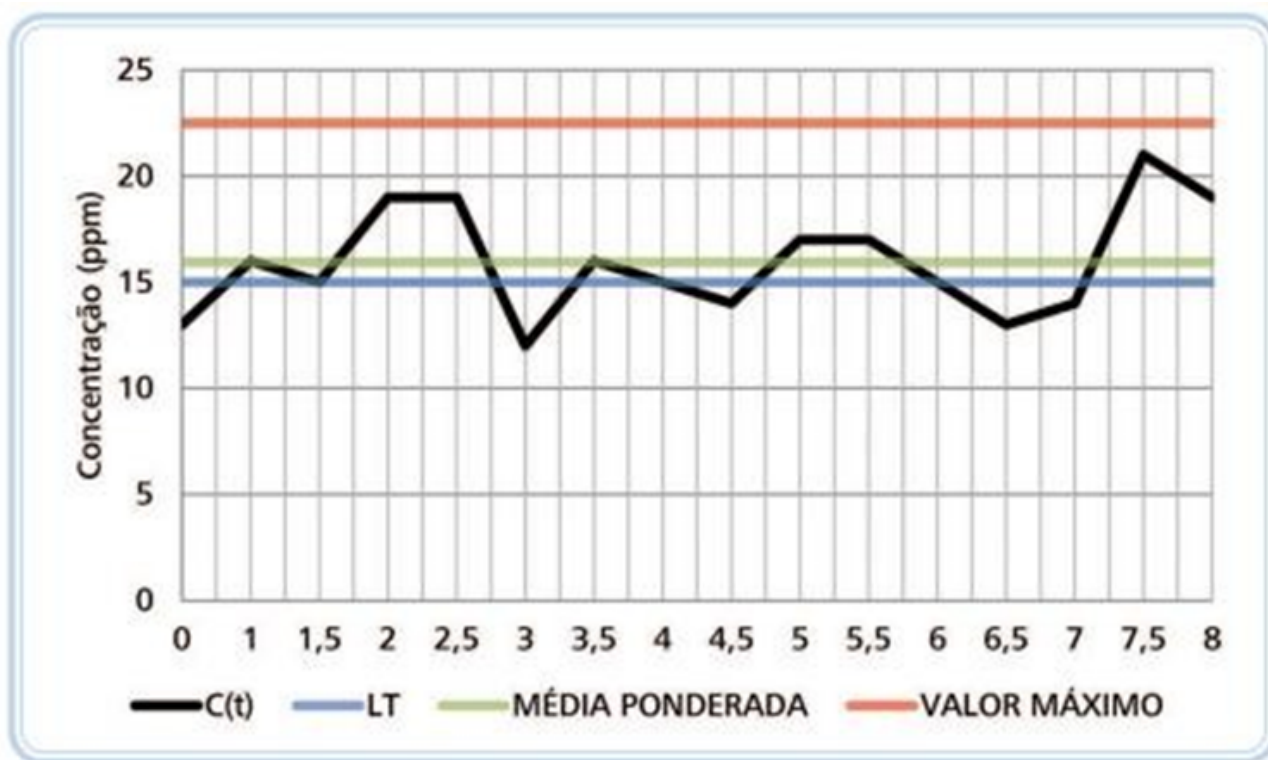
Fonte: CTISM

Figura 5: Exposição acima do limite de tolerância, pois apesar da média ponderada ficar abaixo do LT, alguns valores superaram o valor máximo.



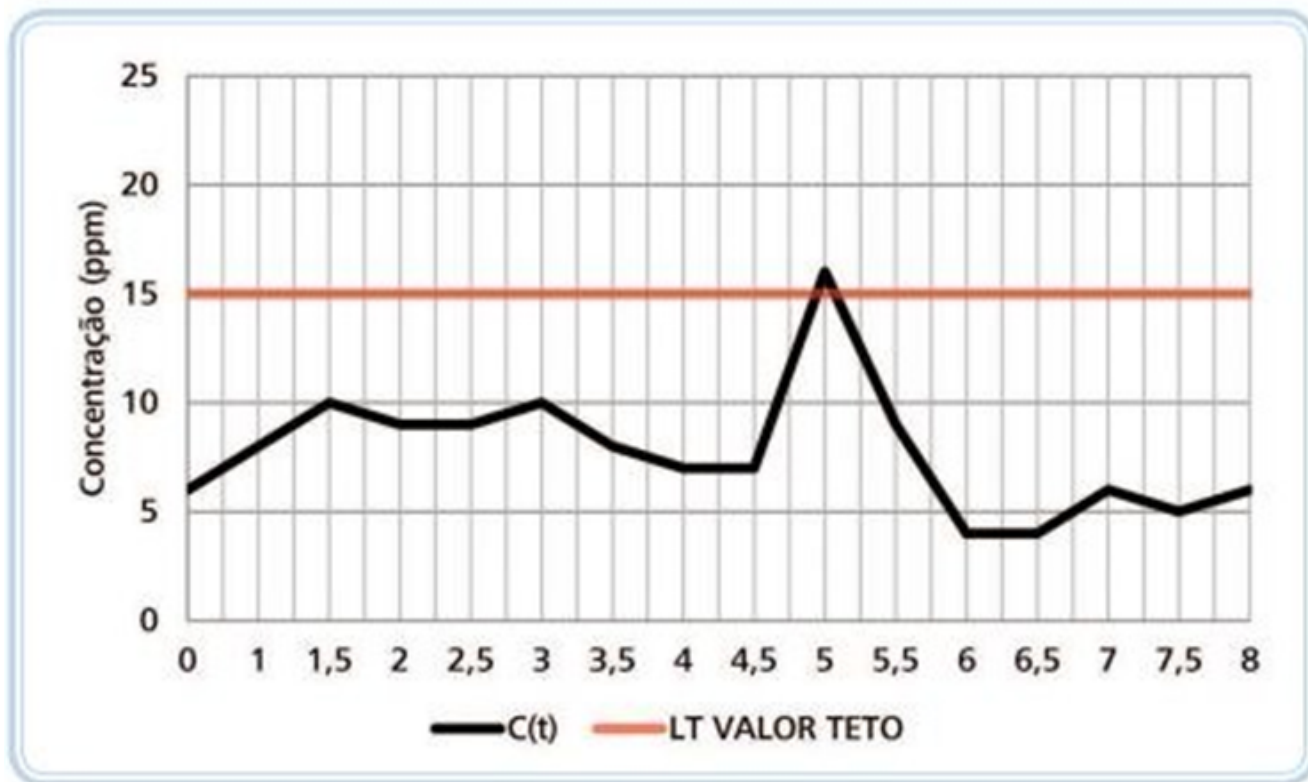
Fonte: CTISM

Figura 6: Exposição acima do limite de tolerância, pois a média ponderada ficou acima do LT.



Fonte: CTISM

Figura 7: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.



Fonte: CTISM

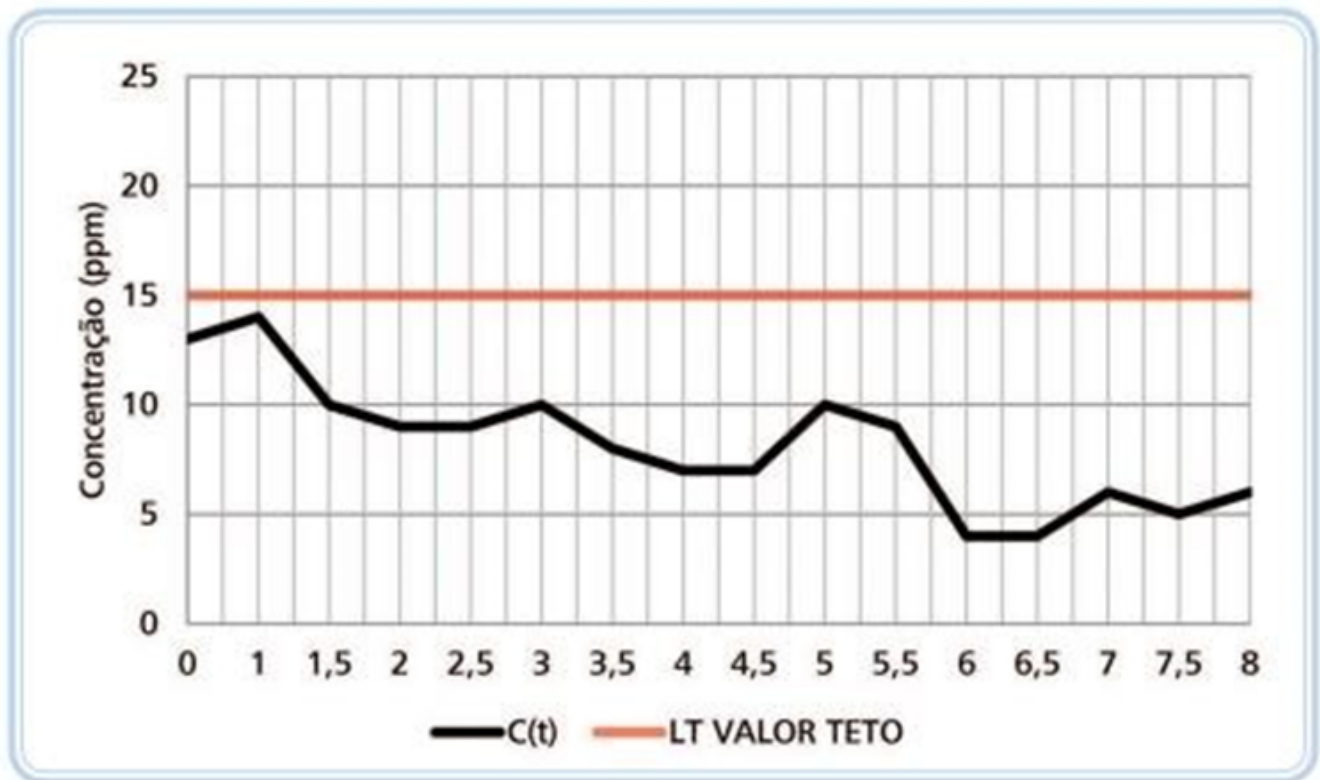
Limite de tolerância valor teto

Quando no Quadro 1, do Anexo 11 da NR 15, na tabela dos limites de tolerância, a substância tem assinalada a coluna valor teto, esse valor indica a concentração máxima que não deve ser ultrapassada em momento nenhum da jornada. Para as substâncias com valor teto, esse valor será o limite de tolerância.

Análise sobre os limites de tolerância valor teto

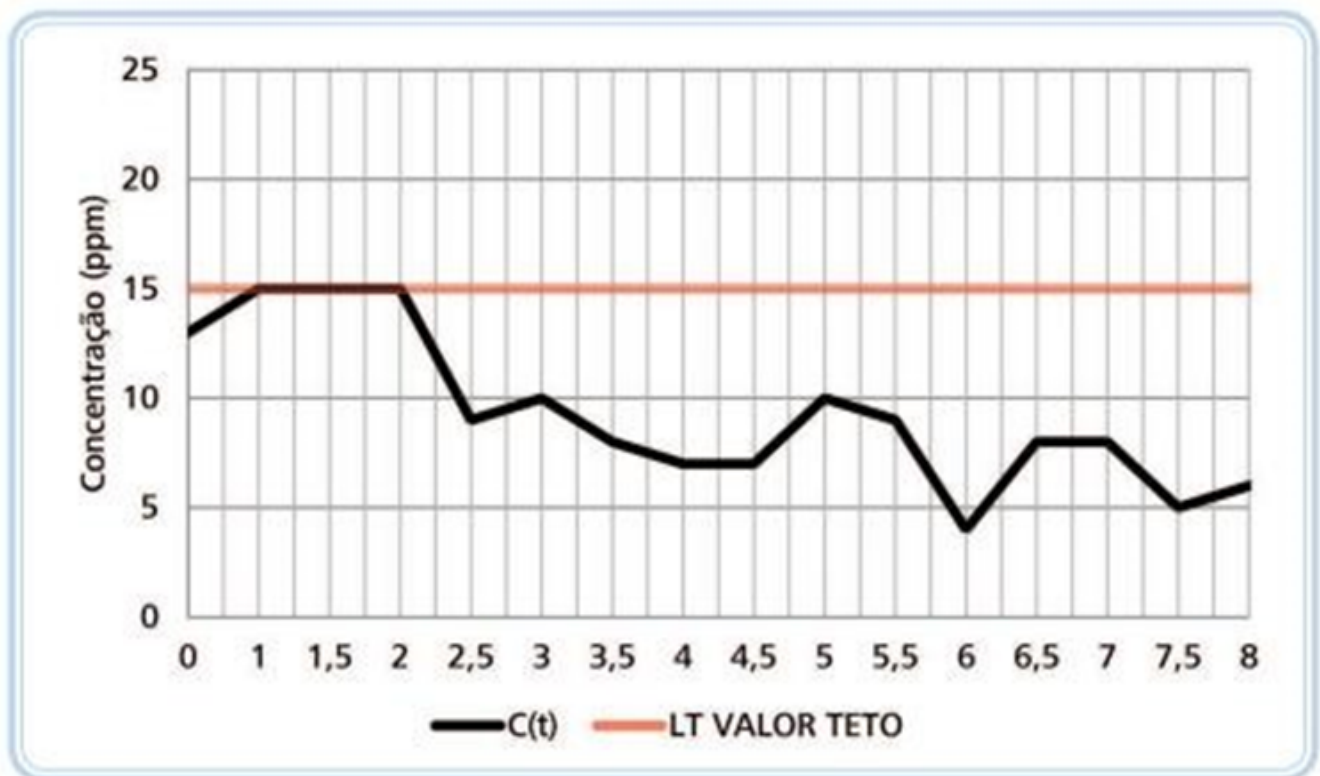
Nos gráficos 8, 9 e 10 a seguir, apresentaremos uma série de exemplos que esclarecerão um pouco mais sobre os limites de exposição para substâncias cujo limite é avaliado por valor teto.

Figura 8: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.



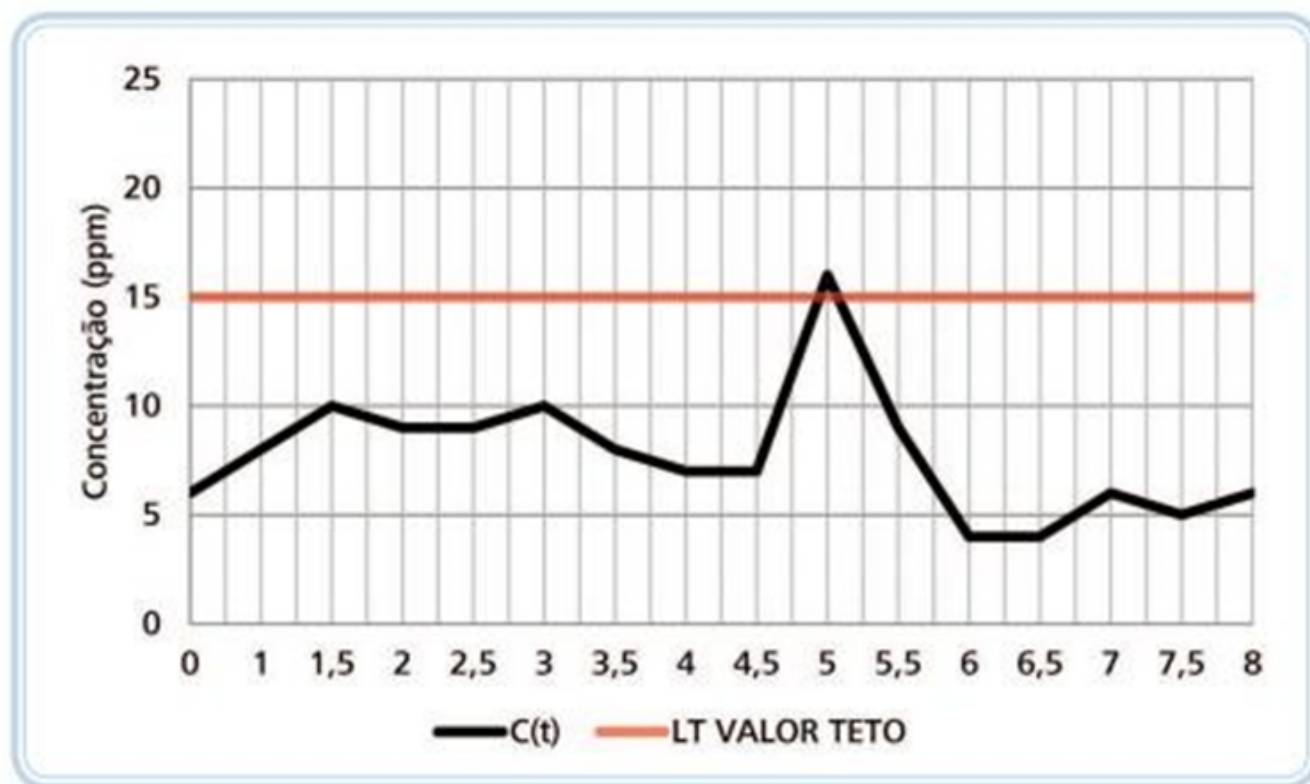
Fonte: CTISM

Figura 9: Exposição abaixo do limite de tolerância, pois nenhum valor ultrapassa o valor teto.



Fonte: CTISM

Figura 10: Exposição acima do limite de tolerância, pois alguns valores ultrapassam o valor teto.



Fonte: CTISM

ACGIH

ACGIH é a sigla da American Conference of Governmental Industrial Hygienists ou Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais. Trata-se de uma associação privada de profissionais de higiene ocupacional e outros relacionados, sediada nos Estados Unidos da América (Analytics Brasil, 2018).

Entre os seus principais objetivos está promover a proteção de trabalhadores expostos a fatores de riscos ambientais. Suas publicações são referências mundiais na análise de riscos físicos, químicos e biológicos.

A ACGIH, entre outros trabalhos, estuda e estabelece os limites de exposição ocupacional para substâncias químicas, agentes físicos e índices de exposição biológicos adotados internacionalmente. Esses limites, para cada tipo de fator de risco, são utilizados em vários países na elaboração de normas de segurança e de proteção à saúde (Analytics Brasil, 2018).

Em relação às referências internacionais, é muito importante que fique claro que, apesar de a NR15 ter sido baseada nas orientações da ACGIH, não há disposição expressa na norma determinando que, na sua omissão, tais referências ou quaisquer normas internacionais, sejam utilizadas para caracterização da insalubridade. Tal fato implica consequências negativas para o trabalhador, pois, caso a exposição ocupacional a determinado agente nocivo não esteja prevista na norma, não haverá base legal para caracterizar a respectiva atividade como insalubre, ainda que os órgãos internacionais estabeleçam o contrário.

Não se deve confundir o exposto no parágrafo anterior com o item 9.6.1.1 da NR9. Esse item admite expressamente a adoção dos limites de exposição da ACGIH para adoção de medidas de controle, mas não para caracterização de insalubridade (MTP, 2021). Como exemplo, cito a exposição à poeira de Policloreto de Vinila (PVC). Não há, na NR15, limites de exposição a esse agente químico, não sendo, portanto, legalmente possível a caracterização da insalubridade nas atividades com tal exposição, o que desobriga o pagamento do adicional de insalubridade respectivo.

O Policloreto de Vinila (PVC), que não está listado no anexo 11, da NR15, durante execução da tarefa, que tem como título, alimentador de linha de produção, no qual o empregado, abastece as máquinas com os materiais da reciclagem e logo se inicia o processo de micronização, que promovem a pulverização do material reaproveitado, gerando uma concentração de poeiras consideráveis, e essa exposição é considerada prejudicial à saúde dos trabalhadores.

Apesar disso as máquinas como betoneiras, peneiras e micronizador estão adequadamente instaladas em um amplo galpão com pé direito de aproximadamente 4 metros, construído com paredes de alvenaria, cobertura em perfis metálicos e telhas metálicas sendo algumas translúcidas, aberturas frontais e laterais, piso em cimento aparente.

As medidas de controles existentes são através de Equipamento de Proteção Individual, como: respirador 3M com filtro, protetor auricular tipo concha, capuz térmico tipo ninja e óculos de segurança.

Diante dos estudos e levantamento de campo, foi realizado uma avaliação de exposição a poeiras respiráveis e inaláveis no local de trabalho e posterior comparação dos resultados com os limites de tolerância estabelecidos pela legislação Brasileira (Critério legal) e critérios internacionais entre eles, NIOSH e ACGIH.

Tabela 1: Particulado Respirável e Inalável

Particulado Respirável			
Avaliado	Concentração encontrada Mg/M ³	Lim. Tolerância ACGIH Mg/M ³	Lim. Total NR15 Mg/M ³
Trabalhador 1	9,985	3	Não encontrado
Trabalhador 2	99,907	3	Não encontrado
Particulado Inalável			
Trabalhador 3	62,526	10	Não encontrado
Trabalhador 4	17,497	10	Não encontrado

Fonte: Empresa de forro PVC

A tabela 1, demonstra que a concentração de Poeira Respirável representada no relatório de ensaio do trabalhador 2, ultrapassou em 33,3 vezes o Limite de Tolerância estabelecido para esse agente. Mesmo ao Levar-se em conta o fator de proteção dos protetores respiratórios que são utilizados, os quais oferecem proteção em até 10 vezes acima do limite de Tolerância, tal nível de proteção ainda é insuficiente (a concentra são máxima permitida seria de 30 mg³).

Conforme especificado em Limites de Exposição (TLV) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição (BEIs), Anexo B, A ACGIH credita que as partículas insolúveis, ou de baixa solubilidade, mesmo que biologicamente inertes, podem causar efeitos adversos e recomenda que as concentrações ambientais sejam mantidas abaixo do limite estabelecido (PEIXOTO, 2013).

As concentrações de poeiras respiráveis e inaláveis coletadas para o cargo, excedeu as Limites de tolerância da ACGIH, porém, os diplomas legais brasileiros estabelecem que para as atividades serem consideradas insalubres e, portanto, gerem a direito ao adicional de insalubridade, aquelas que estão elencadas em um dos anexos da NR 15 para ser considerado insalubre (MTE, 2022).

Embora tenham sido feitos avanços significativos na regulamentação da nanotecnologia, porém, para proteção dos trabalhadores, ainda existem lacunas a serem abordadas. A necessidade de métodos de monitoramento precisos, informações claras sobre os riscos, atualização das regulamentações, bem como avaliação abrangente de riscos, pois, são áreas que exigem mais atenção e investimento para garantir uma proteção eficaz dos trabalhadores envolvidos com nanomateriais.

A ausência de menção específica das nanopartículas na NR-15, indica uma lacuna ou limitação da norma em relação a esse agente químico específico. As nanopartículas de PVC, podem representar um risco potencial à saúde dos trabalhadores, principalmente quando inaladas em grandes concentrações ou de forma contínua (MTE, 2022).

Considerando uma lacuna existente na NR-15, que trata das atividades e operações insalubres, em relação às nanopartículas seria a inclusão de disposições específicas para lidar com os riscos ocupacionais associados à nanotecnologia. Essa inclusão poderia abordar aspectos como:

Classificação e avaliação de riscos: Estabelecer critérios e metodologias para a classificação e avaliação dos riscos ocupacionais relacionados às nanopartículas.

Isso pode incluir a definição de limites de exposição ocupacional específicos para nanopartículas, considerando seus efeitos tóxicos e propriedades físico-químicas.

Medidas de controle: Estabelecer medidas de controle adequadas para reduzir a exposição dos trabalhadores a nanopartículas, como a implementação de sistemas de ventilação eficazes, uso de EPIs adequados e práticas de trabalho seguras. Essas medidas devem considerar as características únicas das nanopartículas e seus potenciais riscos à saúde.

Monitoramento e avaliação: Definir diretrizes para o monitoramento e avaliação da exposição dos trabalhadores a nanopartículas, incluindo métodos de amostragem e análise específicos para esses materiais. Isso permitiria a identificação precoce de exposições elevadas e a adoção de medidas corretivas adequadas.

Capacitação e informação: Exigir que os empregadores forneçam treinamento adequado aos trabalhadores que lidam com nanopartículas, abordando os riscos associados, as medidas de controle e o uso correto dos EPIs. Também seria importante fornecer informações atualizadas sobre os avanços científicos e regulatórios relacionados à nanotecnologia.

Atualização constante: Estabelecer uma cláusula que promova a atualização periódica da NR15 em relação às nanopartículas, levando em consideração os avanços científicos e as melhores práticas em segurança ocupacional nesse campo em constante evolução. Isso garantiria que a regulamentação esteja alinhada com os conhecimentos mais recentes sobre os riscos da nanotecnologia.

Essas sugestões visam preencher a lacuna regulatória existente em relação às nanopartículas na NR15, proporcionando uma abordagem mais abrangente e específica para a gestão dos riscos ocupacionais associados à nanotecnologia. É fundamental considerar o diálogo entre diferentes partes interessadas, como órgãos reguladores, especialistas em saúde e segurança do trabalho, trabalhadores e empregadores, para desenvolver diretrizes eficazes e viáveis para a proteção dos trabalhadores nesse campo em crescimento.

Considerando a falta de atualização de vários limites de tolerância presentes na NR15, aliada à evolução técnico científica das últimas décadas, faz que diversas exposições consideradas atualmente toleráveis pela norma não sejam sequer admitidas por órgãos normativos e científicos internacionais (dentre eles a própria ACGIH), por serem, comprovadamente, danosas à saúde do trabalhador. Para exemplificar, cito ainda, que o limite de tolerância à exposição ao agente químico Tolueno determinado pela NR15, que é de 78 ppm (setenta e oito partes por milhão), enquanto a ACGIH estabelece que esse valor deva ser 20 ppm (vinte partes por milhão) (PEIXOTO, 2013).

Temos, portanto, há vários anos no Brasil, milhares ou milhões de trabalhadores expostos a condições insalubres que são inaceitáveis pela comunidade internacional.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante, da importância de abordar a falta de regulamentação específica e os desafios relacionados à nanotecnologia no contexto da saúde e segurança do trabalhador. A ausência de diretrizes claras expõe os trabalhadores a riscos desconhecidos e dificulta a implementação de medidas preventivas adequadas.

A pesquisa exploratória realizada evidenciou a lacuna regulatória existente no Brasil em relação à nanotecnologia no ambiente de trabalho. A falta de uma regulamentação específica deixa os trabalhadores vulneráveis aos potenciais riscos da exposição a nanomateriais, que ainda são pouco compreendidos em termos de seus efeitos na saúde humana.

Os desafios enfrentados na gestão da saúde e segurança do trabalhador na nanotecnologia incluem a falta de dados toxicológicos suficientes, a complexidade da caracterização dos nanomateriais e as limitações das técnicas de monitoramento existentes. Esses desafios ressaltam a necessidade de um enfoque proativo e baseado em evidências científicas para a proteção dos trabalhadores.

A pesquisa também mostrou a importância de considerar as estratégias e abordagens adotadas por outros países e organizações internacionais. A análise de experiências e regulamentações de outros países pode fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de medidas de proteção e controle de riscos no contexto brasileiro.

Em conclusão, é crucial reconhecer a necessidade de preencher a lacuna regulatória e desenvolver uma regulamentação específica para a gestão da saúde e segurança do trabalhador na nanotecnologia. Essa regulamentação deve ser embasada em evidências científicas, abordar os desafios específicos associados à nanotecnologia e garantir a proteção adequada dos trabalhadores.

Além disso, é essencial promover a conscientização e capacitação dos trabalhadores, bem como a colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo governo, indústria, academia e trabalhadores, para criar um ambiente de trabalho seguro e saudável no campo da nanotecnologia.

A pesquisa exploratória realizada e as considerações levantadas nesse estudo contribuem para a conscientização sobre a necessidade de uma regulamentação adequada e eficaz, a fim de garantir a segurança dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

CONSALES, Gabriella Monteiro Pessoa. **A regulamentação da nanotecnologia no meio ambiente do trabalho**. 2022. Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Direito pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

DIAS, José Robson da Silva et al. **Perigo oculto nos nanomateriais: tecnologias para remoção no ambiente e desintoxicação do organismo**. 2022. Artigo para obtenção do grau de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, pelo Instituto Federal da Bahia.

EBERT, Paulo Roberto Lemgruber. **O princípio da precaução no meio ambiente do trabalho: como lidar com os novos riscos labor-ambientais.** FELICIANO, Guilherme Guimarães et al, p. 281-300, 2020. Direito Ambiental do Trabalho: Apontamentos para uma Teoria Geral.

FERREIRA, Versalhes Enos Nunes; TEIXEIRA, Eliana Maria de Souza Franco. **Nanotecnologia e a saúde do trabalhador: a aplicabilidade do princípio da precaução em face da inexistência de regulamentação normativa.** Conjecturas, v. 22, n. 6, p. 663-678, 2022.

LOURO, Henriqueta; BORGES, Teresa; SILVA, Maria João. **Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública.** Revista Portuguesa de Saúde Pública, v. 31, n. 2, p. 188- 200, 2013.

PEIXOTO, Neverton Hofstadler; FERREIRA, Leandro Silveira. **Higiene Ocupacional III.** UFSM/CTISM: Santa Maria, Brazil, 2013.

MOREIRA, Camila Gonçalves. **Os desafios regulatórios da avaliação de segurança biológica aplicada a materiais de uso em saúde de base nanotecnológica: uma proposição regulatória sob uma perspectiva de risco.** 2022. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nanociência e Nanobiotecnologia da Universidade de Brasília.

SOUSA, Cesar Romero Soares et al. **NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: CONSIDERAÇÕES HISTÓRICA E INTERDISCIPLINAR.** Hegemonia, n. 25, p. 28-28, 2018. Revista Eletrônica do Programa de Mestrado em Direitos Humanos, Cidadania e Violência/Ciência Política do Centro Universitário Unieuro.

SANTOS, Priscilla Crispiniano dos. Nanopartículas: toxicidade biológica. 2015.

VON HOHENDORFF, Raquel et al. **As nanotecnologias no meio ambiente do trabalho: a precaução para equacionar os riscos do trabalhador.** Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário, v. 2, n. 2, p. 668-683, 2013.

NEVES, Zilah Cândida Pereira das et al. **Legislações e recomendações brasileiras relacionadas à saúde e segurança ocupacional dos trabalhadores da saúde**. 2017. Revista Eletrônica de Enfermagem, Goiânia, v. 19, e40427.

PINTO, Cátia Marlene Leite. **Desenvolvimento de linhas de orientação para um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional enfrentar com sucesso a Indústria 4.0**. 2022. Tese de Doutorado.

GONZALEZ, Roberto Henrique Sieczkowski et al. **Regulação das relações de trabalho no Brasil: o marco constitucional e a dinâmica pós-constituente**. 2009. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

JUNIOR, Cléber Nilson Amorim. **Segurança e saúde no trabalho: princípios norteadores**. LTr Editora, 2021.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Relatório de Nanotecnologia. Relatório de Acompanhamento Setorial. **Nanotecnologia na Área da Saúde, Mercado, Segurança e Regulamentação**. Brasília, 2013.

MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. **Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação**. Ciência e Cultura, v. 65, n. 3, p. 32-36, 2013.

VIEGAS, Maria de Fátima Torres Faria et al. **Avaliação da qualidade de revisões sistemáticas sobre toxicidade de nanopartículas de prata**. 2018. Tese de Doutorado.

ALVES, Oswaldo Luiz. **Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo**. Parcerias Estratégicas. Brasília, n.18, p. 23-40, ago. 2004.

BARBOSA, Tiago Claudino; BAGATTOLLI, Carolina; INVERNIZZI, Noela. Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil: A trajetória dos instrumentos financeiros não reembolsáveis. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 14, n. 31, p. 56-74, maio/agos. 2018.

BARROS OLIVEIRA, Maria Helena; FADEL DE VASCONCELLOS, Luiz Carlos. Aspolíticas públicas brasileiras de saúde do trabalhador. **Tempos de avaliação**. 2000.

BERGER FILHO, Airton Guilherme. **Nanotecnologia e o princípio da precaução na sociedade de risco**. Revista Âmbito Jurídico, v. 14, n. 2359, p. 1-8, 2009.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão de Direito Econômico, Indústria E Comércio. **Relatório do Projeto de Lei nº 5.076 de 2005**. Relator Deputado Léo Alcântara. Brasil, Distrito Federal, 2005.

BROUWER, Derk H. Control banding approaches for nanomaterials. **Annals of occupational hygiene**, v. 56, n. 5, p. 506-514, 2012.

BUSSINGER, Elda Coelho de Azevedo; TOSE, Laura Pimenta Krause. Bioética e nanotecnologia: a moralidade como princípio orientador na busca pela formulação de marcos regulatórios aos nanocosméticos. **Revista de Direito Constitucional e Internacional**. v. 101, p.181-198, maio/jun. 2017.

CASTRANOVA, Vincent. The Nanotoxicology Research Program in NIOSH. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 11, p. 5-13, 2009.

GOMES, Claudino; ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e a vulnerabilidade dos trabalhadores em seu ambiente laborativo: os desafios gerados pela in (existência) de normas protetivas trabalhistas. **Rev. de Direitos Fundamentais nas Relações do Trabalho, Sociais e Empresariais**. Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83-105, 2018.

CHOI, J., RAMACHANDRAN, G. e KANDLIKAR, M., 2009. **The Impact of Toxicity Testing Costs on Nanomaterial Regulation**. Environmental Science & Technology. doi.org/10.1021/es802388s.

CONTI, Joseph A. et al. **Health and safety practices in the nanomaterials workplace: results from an international survey**. 2008. doi.org/10.1021/es702158q.

- COSTA, Joana Daniela da Silva. **Síntese e Caracterização toxicológica de diferentes tipos de nanopartículas de Ouro. Estudos in vitro e in vivo.** 2015. 150f. Dissertação de Mestrado em Controle de Qualidade da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto. Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.
- DIMER, Frantiescoli A. et al. Impactos da nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1520-1526, 2013.
- DREXLER, K. ERIC. Engines of creation: the coming era of nanotechnology. New York/USA: **Anchor Books**, 1986 pp. 298.
- DRUCK, G.; FRANCO, T. – A Degradação do Trabalho e os Riscos Industriais no Contexto da Globalização, Reestruturação Produtiva e das Políticas Neoliberais. In: FRANCO, T. (org.). **Trabalho, Riscos Ambientais e Meio Ambiente: Rumo ao Desenvolvimento Sustentável.** Salvador, Ed. EDUFBA, 1997. p. 15-32.
- HUPFFER, Haide Maria; LAZZARETTI, Luisa Lauermann. Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 16, n. 3, p. 153-177, 2019.
- VAN DUUREN-STUURMAN, Birgit et al. Stoffenmanager nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. **Annals of occupational hygiene**, v. 56, n. 5, p. 525-541, 2012.
- GOMES, Claudino; ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e a vulnerabilidade dos trabalhadores em seu ambiente laborativo: os desafios gerados pela in (existência) de normas protetivas trabalhistas. **Rev. de Direitos Fundamentais nas Relações do Trabalho, Sociais e Empresariais. Porto Alegre**, v. 4, n. 2, p. 83-105, 2018.
- ENGELMANN, Wilson. Novos desafios para o Direito na Era das Nanotecnologias. **Revista Tomo**, n. 29, p. 37-54, 2016.
- ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMÜLLER, André Rafael. Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental. **Curitiba: Honoris**

Causa, 2010.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FROHLICH, Afonso. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. **ENGELMANN, Wilson. Nanocosméticos e o Direito à Informação. Erechim: Devian**, p. 15- 76, 2015.

ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, Suas Normas e Estruturação: Possíveis Interfa- ces Regulatórias. In ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (Org.). **As Normas ISO e as Nano- tecnologias: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico**. 1 ed. São Leopoldo: Karywa, 2017.

ENGELMANN, Wilson; PULZ, Ronei Leonardo. As nanotecnologias no panorama regulatório: entre a ausência de regulação estatal específica e a necessidade de harmonização regulatória não estatal. **Araucaria. Revista Iberoamericana de Filosofía, Política y Humanidades**, v. 17, n. 33, p. 151-181, 2015.

FERNANDES, Ana Luiza Castro; WAISSMANN, William. Interações de nanotubos de carbono e fulerenos com o sistema imune da pele e as possíveis implicações relacionadas à nanotoxicidade cutânea. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 4, p. 92- 103, 2013.

FOLADORI, Guillermo et al. Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. **Sociologias**, v. 14, p. 330-363, 2012.

FONSECA, Paulo FC; PEREIRA, Tiago Santos. The governance of nanotechnology in the Brazilian context: Entangling approaches. **Technology in Society**, v. 37, p. 16-27, 2014.

GATTI, Antonietta Morena. Nano-biointeraction and nanopathology. **Medical Science News**, Ouc, 2016.

GÓES, Mauricio de Carvalho. Direito das nanotecnologias e o meio ambiente de trabalho. **Porto Alegre: Livraria do Advogado**, 2015. p. 137.

VON HOHENDORFF, Raquel; COIMBRA, Rodrigo; ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias, os riscos e as interfaces com o direito à saúde do trabalhador. **Revista de informação legislativa**, v. 53, n. 209, p. 151-172, 2016.

HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson. AS NANOTECNOLOGIAS: ENTRE AUTORREGULAÇÃO E GOVERNANÇA. **Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias**, p. 75.

LOOS, Marcio Rodrigo. **Nanociência e nanotecnologia: compósitos termofixos reforçados com nanotubos de carbono**. Interciência, 2014.

LOURO, Henriqueta; BORGES, Teresa; SILVA, Maria João. Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. **Revista Portuguesa Saúde Pública**. Lisboa, v. 31, n. 2, p. 145-157, dez, 2013, p.147.

DE SOUZA MARCONE, Glauciene Paula. NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: ASPECTOS GERAIS, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS NO CONTEXTO DO BRASIL. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**-ISSN: 1984-5693, v. 7, n. 2, p. 1-1, 2015.

MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, v. 65, n. 3, p. 32-36, 2013.

MENDES, René; DIAS, Elizabeth Costa. Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador. **Revista de saúde pública**, v. 25, p. 341-349, 1991.

MINAYO-GOMEZ, Carlos; THEDIM-COSTA, Sonia Maria da Fonseca. A construção do campo da saúde do trabalhador: percurso e dilemas. **Cadernos de saúde pública**, v. 13, p. S21-S32, 1997.

RESCH, Sibelly; FARINA, Milton Carlos. Mapa do conhecimento em nanotecnologia no setor agroalimentar. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, p. 51-75, 2015.

ROCO, Mihail C. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, p. 427-445, 2011.

ROCO, Mihail C. et al. Innovative and responsible governance of nanotechnology for societal development. **Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook**, p. 561-617, 2011.

SHAH, S. Ismat; POWERS, Thomas M. Nanotechnology–A path forward for developing nations. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2015. p. 012001.

SINGH, Namita Ashish. Nanotechnology innovations, industrial applications and patents. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 2, p. 185-191, 2017.

SUFIAN, Mian Muhammad et al. Safety issues associated with the use of nanoparticles in human body. **Photodiagnosis and photodynamic therapy**, v. 19, p. 67-72, 2017.

VERDI, Roberta; HUPFFER, Haide Maria; JAHNO, Vanusca Dalosco. Desvendando o universo da nano-tecnologia: dialogando sobre riscos, benefício e uma nova ética para a civilização tecnológica. **EN-GELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria. BioNanoÉtica: Perspectivas Jurídicas**, v. 1.

ZARBIN, Aldo JG. Química de (nano) materiais. **Química nova**, v. 30, p. 1469-1479, 2007.

¹ Engenheira de Telecomunicações, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Mestranda em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará – UFPA.

² Pós-doutorado: University of Florida, Inmetro, UFRJ, UCSB, UFPE. Prof. Titular da Universidade Federal do Pará – UFPA.

[← Post anterior](#)

RevistaFT

A **RevistaFT** é uma **Revista Científica Eletrônica Multidisciplinar Indexada de Alto Impacto e Qualis “B2” em 2023**. Periodicidade mensal e de acesso livre. Leia gratuitamente todos os artigos e publique o seu também [clcando aqui](#).



Contato

Queremos te ouvir.

WhatsApp: 11 98597-3405

e-Mail: contato@revistaft.com.br

ISSN: 1678-0817

CNPJ: 48.728.404/0001-22

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), fundação do Ministério da Educação (MEC), desempenha papel fundamental na expansão e consolidação da pós-graduação stricto sensu (mestrado e doutorado) em todos os estados da Federação.

Conselho Editorial

Editores Fundadores:

Dr. Oston de Lacerda Mendes.

Dr. João Marcelo Gigliotti.

Editor Científico:

Dr. Oston de Lacerda Mendes

Orientadoras:

Dra. Hevellyn Andrade Monteiro

Dra. Chimene Kuhn Nobre

Dra. Edna Cristina

Dra. Tais Santos Rosa

Revisores:

Lista atualizada periodicamente em revistaft.com.br/expediente Venha fazer parte de nosso time de revisores também!

Copyright © Editora Oston Ltda. 1996 - 2023

Rua José Linhares, 134 - Leblon | Rio de Janeiro-RJ | Brasil