

IDENTIFICAÇÃO DE CONFORMIDADES EM CNC EM RELAÇÃO ÀS NORMAS DE SEGURANÇAS PARA GARANTIR A SUSTENTABILIDADE

**José de Luna Filgueiras Filho¹, Matheus Farias², Flávio Murilo de Carvalho
Leal³, Denise Magalhães Azevedo Feitoza⁴**

¹Discente do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial - Faculdade de Tecnologia Centec - FATEC Cariri, Juazeiro do Norte-CE, Brasil (lunajosedeluna@gmail.com)

²Discente do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial - Faculdade de Tecnologia Centec - FATEC Cariri, Juazeiro do Norte-CE, Brasil (theusfarias27@gmail.com)

³Orientador e Docente do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial - Faculdade de Tecnologia Centec - FATEC Cariri, Juazeiro do Norte-CE, Brasil (murilo.leal@centec.org.br)

⁴Professora do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental - Faculdade de Tecnologia Centec - FATEC Cariri, Juazeiro do Norte-CE, Brasil (denise.feitoza@centec.org.br)

Resumo: A produtividade e a precisão aumentaram com a crescente integração de máquinas CNC na indústria. No entanto, a segurança é fundamental, pois o manuseio inadequado ou a falta de conformidade podem causar riscos ocupacionais e acidentes. Este estudo analisa a literatura sobre a identificação de conformidades em relação às normas de segurança para utilização de CNC. Serão abordadas normas, técnicas de análise e boas práticas. Buscando entender de que maneira o cumprimento das normas pode contribuir para a sustentabilidade.

Palavras-chave: CNC; segurança; sustentabilidade; indústria.

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 trouxe um cenário de automação avançada, no qual as máquinas CNC desempenham papel fundamental. Sua capacidade de executar operações complexas com precisão milimétrica impulsiona a competitividade das empresas em diversos setores. (Morgan *et al.*, 2021)

Porém, o uso dessas tecnologias também evidencia riscos associados, como acidentes mecânicos, falhas elétricas, exposição a partículas e riscos ergonômicos.

Impactando diretamente no tripé da sustentabilidade, as normas de segurança surgem como instrumentos essenciais para garantir não somente a integridade do operador, mas também a confiabilidade do processo produtivo. Identificar conformidades em relação a essas normas torna-se, portanto, um desafio e uma necessidade constante no ambiente industrial moderno.

Criando um cenário onde as indústrias que sigam as normas entrem em harmonia com o tripé da sustentabilidade.

Assim, este estudo pretende revisar a literatura acadêmica e técnica a respeito da conformidade normativa em máquinas CNC, destacando as práticas mais comuns de identificação de riscos, os padrões regulatórios nacionais e internacionais, bem como os desafios encontrados por diferentes portes de empresas. Dessa maneira podendo identificar como a conformidade com as normas de segurança podem contribuir para a sustentabilidade.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Tripé da Sustentabilidade

A sustentabilidade ganhou destaque internacional com o Relatório *Brundtland* (1987), que a definiu como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras

de suprir suas próprias necessidades” (*World Commission on Environment and Development*, 1987). Essa definição ressaltou a importância de integrar as dimensões ambiental, social e econômica para uma avaliação completa da sustentabilidade em projetos e políticas

John Elkington (1997) cunhou o termo *Triple Bottom Line* (TBL), ou tripé da sustentabilidade, que se baseia em três pilares: Pessoas, Planeta e Lucro. A verdadeira avaliação do desempenho sustentável de organizações e sociedades só é possível ao considerar esses três elementos equilibradamente.

- **Aspecto Ambiental**, com as baixas emissões de partículas e materiais que podem contaminar o meio ambiente.
- **Aspecto Socio Econômico**, já que seguindo as normas de segurança é possível que não haja custos com indenização por acidentes no ambiente de trabalho, com multas

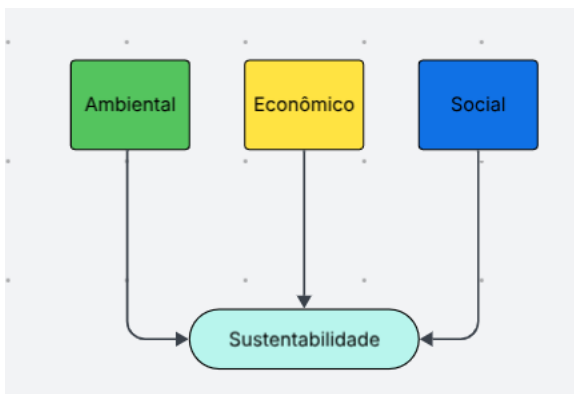


Figura 01: Tripé da Sustentabilidade, Aspectos Ambientais, Econômicos e Sociais.

Fonte: Adaptado de John Elkington (1997)

Máquinas CNC

O Comando Numérico Computadorizado (CNC) ou *Computer Numerical Control*, representa um sistema de automação aplicado a diferentes máquinas-ferramenta, como tornos, fresadoras, retíficas, centros de usinagem e cortadoras a laser. Esse sistema constitui uma evolução do *Numerical Control* (NC), desenvolvido nos anos 1950 com o intuito de aumentar a precisão e a repetibilidade nos processos de fabricação (Groover, 2016).

As operações em CNC são regidas por programas em linguagens padronizadas, como o **G-code**, nos quais se especificam parâmetros como deslocamento, velocidade de corte, avanço e profundidade. Tal configuração garante

maior autonomia às máquinas, reduzindo a interferência manual e proporcionando padronização e qualidade aos produtos (Kalpakjian; Schmid, 2014).

G-Code Reference List

| G Code | Function | G Code | Function |
|--------|---|--------|-------------------------------------|
| G00 | Positioning at rapid travel; | G58 | Set Datum; |
| G01 | Linear interpolation using a feed rate; | G59 | Set Datum; |
| G02 | Circular interpolation clockwise; | G70 | Finish cycle (Lathe); |
| G03 | Circular interpolation, counterclockwise; | G71 | Rough turning cycle (Lathe); |
| G04 | Dwell | G72 | Rough facing cycle (Lathe); |
| G17 | Select X-Y plane; | G73 | Chip break drilling cycle; |
| G18 | Select Z-X plane; | G74 | Left hand tapping (Mill); |
| G19 | Select Z-Y plane; | G74 | Face grooving cycle; |
| G20 | Imperial units; | G75 | OD groove pecking cycle (Lathe); |
| G21 | Metric units; | G76 | Boring cycle (Mill); |
| G27 | Reference return check; | G76 | Screw cutting cycle (Lathe); |
| G28 | Automatic return through reference point; | G80 | Cancel cycles; |
| G29 | Move to a location through reference point; | G81 | Drill cycle; |
| G31 | Skip function; | G82 | Drill cycle with dwell; |
| G32 | Thread cutting operation on a Lathe; | G83 | Peck drilling cycle; |
| G33 | Thread cutting operation on a Mill; | G84 | Tapping cycle; |
| G40 | Cancel cutter compensation; | G85 | Bore in, bore out; |
| G41 | Cutter compensation left; | G86 | Bore in, rapid out; |
| G42 | Cutter compensation right; | G87 | Back boring cycle; |
| G43 | Tool length compensation; | G90 | Absolute programming; |
| G44 | Tool length compensation; | G91 | Incremental programming; |
| G50 | Set coordinate system (Mill); | G92 | Reposition origin point (Mill); |
| G50 | Maximum RPM (Lathe); | G92 | Screw thread cutting cycle (Lathe); |
| G52 | Local coordinate system setting; | G94 | Per minute feed; |
| G53 | Machine coordinate system setting; | G95 | Per revolution feed; |
| G54 | Set Datum; | G96 | Constant surface speed (Lathe); |
| G55 | Set Datum; | G97 | Constant surface speed cancel; |
| G56 | Set Datum; | G98 | Feed per minute (Lathe); |
| G57 | Set Datum; | G99 | Feed per revolution (Lathe); |

Figura 02: Tabela de códigos do tipo G.

Fonte: G-Code Tutor

Segundo Dornfeld e Lee (2008), os benefícios proporcionados pelo CNC incluem:

- **Precisão e repetibilidade** na produção de peças em tolerâncias rigorosas;
- **Flexibilidade** para adaptação a diferentes projetos mediante ajustes de programação;
- **Produtividade** por meio da redução do tempo de setup e da eficiência dos ciclos de usinagem;
- **Segurança**, enquanto diminui a exposição direta dos operadores ao processo de corte.

Com os avanços da automação, o CNC foi integrado a sistemas de manufatura assistida por computador (CAM) e, mais recentemente, ao conceito de Indústria 4.0, favorecendo conectividade em rede, monitoramento remoto e

manutenção preditiva. Nesse cenário, consolida-se como tecnologia essencial à modernização da manufatura e à competitividade global (Chrystolouris, 2013).

Normas de Segurança em CNC

A utilização de máquinas CNC demanda conformidade com normas de segurança que estabelecem parâmetros técnicos de proteção coletiva e individual. Entre as principais destacam-se:

- **NR-12 (Ministério Do Trabalho E Previdência, 1978)** Define requisitos para proteção de operadores e manutenção de máquinas e equipamentos.
- **ISO 23125 (International Organization For Standardization, 2013)** Norma específica para tornos, abordando requisitos de projeto, construção e uso seguro.
- **ISO 13849 e IEC 62061 (International Organization For Standardization, 2006; International Electrotechnical Commission, 2006)** Tratam da segurança funcional em sistemas de controle, fornecendo diretrizes para o projeto de mecanismos que garantam a integridade dos trabalhadores.

Panorama dos Riscos em CNC

Conforme a **NR-5** a **NR-12** e a **NR-17** (Ministério Do Trabalho E Emprego, 1978a; 1978b), os principais riscos associados ao uso de máquinas CNC podem ser classificados em:

- **Riscos mecânicos:** decorrentes do contato com ferramentas rotativas e movimentação de eixos;
- **Riscos elétricos:** falhas de aterramento, curtos-circuitos e choques em sistemas de alta tensão;
- **Riscos de partículas:** projeção de cavacos metálicos e fluidos de corte;
- **Riscos ergonômicos:** posturas inadequadas, movimentos repetitivos e esforços excessivos.

| MAPA DE RISCO - SIMBOLÓGIA DAS CORES | | | | | |
|--------------------------------------|----------|--------------------|-------|---------|---|
| Tipos de Agentes | Cor | Proporção do Risco | | | Exemplos |
| | | Elevado | Médio | Pequeno | |
| Físicos | Verde | | | | Ruído, calor, frio, pressões, umidade, radiação, etc. |
| Químicos | Vermelho | | | | Poeiras, fumos, gases, vapores, névoas, neblinas, etc. |
| Biológicos | Marron | | | | Fungo, vírus, parasitas, bactérias, protozoários, insetos, etc. |
| Ergonômicos | Amarelo | | | | Transporte manual de carga, repetitividade, ritmo excessivo, etc. |
| Acidentes | Azul | | | | Aranjo físico e iluminação inadequada, incêndio, eletricidade, etc. |

Figura 03: Mapa de Risco

Fonte: Mais Controle

Abordadas conforme o Mapa de Risco padrão, estabelecidos pela **CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes)** e a **SESMT (Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho)** dentro da **NR-05**, mediante a portaria N° 25 em 29 de dezembro de 1994.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada se baseia em uma revisão das normas de segurança com o cenário atual das indústrias que utilizam CNC, com base também do referencial teórico para aprofundamento do tema em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise evidencia que as falhas técnicas e operacionais em máquinas CNC estão diretamente relacionadas à presença de partes móveis, que expõem o trabalhador a riscos como cortes, fraturas e aprisionamento de membros.

Além disso, partidas inesperadas ocasionadas por falhas no sistema de comando ou por influências externas de origem elétrica, hidráulica ou pneumática representam um fator crítico de risco. Conforme previsto pela **NR-12**, a apreciação de riscos deve contemplar tais situações, incluindo falhas de contadores, relés, solenoides e servo-motores, que podem comprometer o funcionamento seguro da máquina.

A adoção de manutenção preventiva e preditiva surge como medida essencial, uma vez que componentes como guias lineares, eixos e sistemas de lubrificação sofrem desgaste natural. Inspeções regulares e o monitoramento de variáveis como vibração e temperatura contribuem para antecipar falhas graves e reduzir custos de manutenção, confirmando o

que a literatura aponta sobre a importância da confiabilidade operacional (Dornfeld *et al.*; 2008).

Outro aspecto identificado refere-se aos erros humanos, que continuam a ter papel relevante mesmo em ambientes automatizados. Operações inadequadas, manutenções mal executadas e falta de treinamento estão entre os fatores mais recorrentes. A NR-12 determina treinamentos obrigatórios e a responsabilidade dos trabalhadores em seguir procedimentos e não alterar dispositivos de segurança, evidenciando a necessidade de reforçar a cultura de segurança. O investimento em capacitação contínua reduz a ocorrência de falhas humanas e promove maior confiabilidade do processo (Groover, 2016).

Do ponto de vista econômico, social e ambiental, observa-se que o custo de aquisição e utilização de máquinas CNC e tecnologias associadas à Indústria 4.0 ainda é elevado, o que pode gerar barreiras de adoção, principalmente em empresas de pequeno porte.

Embora exista preocupação quanto a riscos de perda de empregos e resistência organizacional, estudos apontam que a automação tende a exigir requalificação da mão de obra em vez de substituí-la, reforçando a importância de programas de capacitação (Kalpakjian; Schmid, 2014).

No que se refere ao impacto ambiental, a automação está mais associada à eficiência energética e otimização de processos do que ao aumento de resíduos ou consumo. No entanto, a adequação legal e normativa representa um desafio constante: a não conformidade com a NR-12 e normas internacionais (**ISO 23125, ISO 13849, IEC 62061**) pode gerar multas, ações trabalhistas e até interdição de empresas. Isso confirma a relevância da apreciação sistemática de riscos e da utilização de *Checklist* de conformidade como instrumentos de prevenção e gestão.

Resumindo, os resultados confirmam que:

- As falhas técnicas e operacionais são agravadas pela ausência de manutenção adequada;
- Os erros humanos estão diretamente ligados à falta de treinamento e de uma cultura de segurança consolidada;

- Os riscos econômicos e sociais decorrem principalmente do alto custo de investimento e da necessidade de requalificação da força de trabalho.

O cumprimento das normas de segurança constitui fator decisivo não somente para a integridade do trabalhador, mas também para a competitividade e sustentabilidade das empresas.

Contribuição para a sustentabilidade

A análise confirma que as falhas técnicas e operacionais em máquinas CNC, especialmente ligadas a partes móveis e sistemas de comando, representam riscos críticos à segurança do trabalhador. No entanto, observou-se que com o cumprimento das normas regulamentadoras (NR-12, ISO 23125, ISO 13849 e IEC 62061) atua como barreira essencial para mitigar tais riscos, uma vez que estabelece padrões de projeto, operação e manutenção segura. (Racz *et al.* 2020)

Do ponto de vista da **sustentabilidade**, a conformidade normativa gera benefícios em três dimensões:

- **Econômica:** a redução de acidentes e falhas diminui custos de paralisações, ações trabalhistas e retrabalho. Além disso, ao favorecer a confiabilidade, amplia a vida útil dos equipamentos e reduz o consumo de peças de reposição, o que se alinha a práticas de produção enxuta e uso racional de recursos.
- **Social:** a adequação às normas fortalece a cultura de segurança, promove ambientes de trabalho mais saudáveis e exige programas contínuos de capacitação. Isso contribui para a requalificação da mão de obra, ponto crítico no contexto da Indústria 4.0, em que a automação não substitui, mas transforma funções humanas.
- **Ambiental:** a prevenção de falhas e a manutenção preditiva reduzem desperdícios de materiais, consumo energético e a geração de resíduos oriundos de quebras ou trocas prematuras de componentes.

No contexto das máquinas CNC, esses polos não se excluem: ao contrário, complementam-

se. O cumprimento das normas assegura os requisitos mínimos de segurança, enquanto as soluções inovadoras otimizam o monitoramento, antecipam falhas e ampliam a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do equipamento.

Portanto, a identificação de conformidades normativas deve ser compreendida não somente como obrigação legal, mas como um instrumento estratégico para a sustentabilidade, capaz de integrar segurança, produtividade e responsabilidade socioambiental.

CONCLUSÃO

A revisão demonstra que a conformidade normativa em CNC é fator determinante para a sustentabilidade industrial, ao reduzir riscos de acidentes, garante confiabilidade operacional e contribui para a competitividade das empresas. Além dos benefícios diretos à integridade do trabalhador, a adequação normativa possibilita ganhos econômicos como: menores custos com falhas e paradas, sociais como: a valorização da segurança e qualificação da mão de obra e ambientais, redução de resíduos e desperdícios.

Os dados analisados confirmam que a integração entre práticas tradicionais de manutenção e ensaios normativos e tecnologias inovadoras de diagnóstico inteligente representa o caminho mais consistente para consolidar a sustentabilidade na manufatura CNC.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) à Faculdade de Tecnologia do Cariri (FATEC-Cariri) e ao Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC).

REFERÊNCIAS

ELKINGTON, J. *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Oxford: Capstone, 1997.

G-CODE TUTOR. Disponível em: <https://gcodetutor.com/cnc-machine-training/cnc-g-codes.html>.

Hendrik Birkel *et al.* "Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers."

Sustainability (2019). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/SU11020384>.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62061: Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems. Genebra: IEC, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13849-1: Safety of machinery – Safety-related parts of control systems. Genebra: ISO, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 23125: Machine tools — Safety – Turning machines. Genebra: ISO, 2013. Disponível em: <https://www.iso.org/>.

J. Morgan et al. "Industry 4.0 smart reconfigurable manufacturing machines." *Journal of Manufacturing Systems*, 59 (2021): 481-506. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.03.001>.

KPMG. Corporate Sustainability Reporting Survey 2012. Amstelveen: KPMG International, 2012.

MAIS CONTROLE. Disponível em: <https://maiscontroleerp.com.br/mapa-de-risco/>.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (Brasil). Norma Regulamentadora n. 17: Ergonomia. Brasília, DF, 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA (Brasil). Norma Regulamentadora n. 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília, DF, 1978. Publicação no D.O.U., Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Última alteração/atualização pela Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022.

NORMA REGULAMENTADORA n. 5 (NR-5). Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos->

[colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-5-nr-5.](#)

SEN, A. Development as Freedom. New York: Knopf, 1999.

S. Racz et al. "Hazards That Can Affect CNC Machine Tools during Operation—An AHP Approach." *Safety* (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/safety6010010>.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.