

APLICAÇÃO DA TEORIA DA APRENDIZAGEM EXPANSIVA DE ENGESTRÖM AO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

APPLICATION OF ENGESTRÖM'S EXPANSIVE LEARNING THEORY TO TEACHING COMPUTER NUMERICAL CONTROL PROGRAMMING

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE EXPANSIVO DE ENGESTRÖM A LA ENSEÑANZA DE LA PROGRAMACIÓN DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

Isac Barbosa de Almeida

isac.barbosa@ifrn.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-4265-039X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Verônica Maria de Araújo Pontes

pontes.veronica@ifrn.edu.br

<https://orcid.org/0000-0003-2774-4491>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Carla Katarina de Monteiro Marques

carla.marques@ifrn.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-9608-3968>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Diogo Pereira Bezerra

diogo.bezerra@ifrn.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-0159-4117>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta teórico-metodológica fundamentada na Teoria da Aprendizagem Expansiva de Engeström para o ensino de programação em Comando Numérico Computadorizado. O estudo propõe uma análise conceitual da problemática dos elevados custos associados à obtenção de máquinas e softwares especializados para fins educacionais. A Teoria da Atividade de Engeström é apresentada, detalhando os elementos de um sistema de atividade (sujeitos, objetos, ferramentas, regras, comunidade e divisão do trabalho) e o conceito de aprendizagem expansiva através da resolução de contradições internas. Propõe-se a análise das limitações financeiras como uma contradição central no sistema de atividade do ensino-aprendizagem. A proposta sugere como essa contradição pode ser explorada através das etapas do ciclo de aprendizagem expansiva, incluindo questionamento da prática existente, análise de situações problemáticas, modelagem de novas soluções, implementação, reflexão e consolidação. Como contribuição teórica, conclui-se que a abordagem da Teoria da Atividade oferece uma estrutura conceitual valiosa para compreender e transformar os processos de ensino e aprendizagem, promovendo estratégias pedagógicas inovadoras que abordem as contradições inerentes ao sistema educacional.

PALAVRAS-CHAVE: aprendizagem expansiva; Comando Numérico Computadorizado; teoria da atividade.

ABSTRACT

This work presents a theoretical-methodological proposal based on Engeström's Expansive Learning Theory for teaching Computer Numerical Control programming. The study proposes a conceptual analysis of the problem of high costs associated with acquiring machines and specialized software for educational purposes. Engeström's Activity Theory is presented, detailing the elements of an activity system (subjects, objects, tools, rules, community, and division of labor) and the concept of expansive learning through the resolution of internal contradictions. It is proposed to analyze financial limitations as a central contradiction in the teaching-learning activity system. The proposal suggests how this contradiction can be explored through the stages of the expansive learning cycle, including questioning existing practice, analyzing problematic situations, modeling new solutions, implementation, reflection, and consolidation. As a theoretical contribution, it is concluded that the Activity Theory approach offers a valuable conceptual structure for understanding and transforming teaching and learning processes, promoting innovative pedagogical strategies that address the contradictions inherent in the educational system.

KEYWORDS: expansive learning; Computer Numerical Control; activity theory.

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta teórico-metodológica fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Expansivo de Engeström para la enseñanza de programación de Control Numérico Computarizado. El estudio propone un análisis conceptual de la problemática de los elevados costos asociados con la adquisición de máquinas y software especializados para fines educativos. Se presenta la Teoría de la Actividad de Engeström, detallando los elementos de un sistema de actividad (sujetos, objetos, herramientas, reglas, comunidad y división del trabajo) y el concepto de aprendizaje expansivo

a través de la resolución de contradicciones internas. Se propone analizar las limitaciones financieras como una contradicción central en el sistema de actividad de enseñanza-aprendizaje. La propuesta sugiere cómo esta contradicción puede ser explorada a través de las etapas del ciclo de aprendizaje expansivo, incluyendo el cuestionamiento de la práctica existente, análisis de situaciones problemáticas, modelado de nuevas soluciones, implementación, reflexión y consolidación. Como contribución teórica, se concluye que el enfoque de la Teoría de la Actividad ofrece una estructura conceptual valiosa para comprender y transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje, promoviendo estrategias pedagógicas innovadoras que aborden las contradicciones inherentes al sistema educativo.

PALABRAS CLAVE: *aprendizaje expansivo; Control Numérico Computarizado; teoría de la actividad.*

INTRODUÇÃO

Este artigo analisa a aplicação teórico-conceitual da Teoria da Aprendizagem Expansiva de Engeström ao contexto do ensino de programação em Comando Numérico Computadorizado (CNC), investigando as contradições sistêmicas que emergem das limitações de recursos nas instituições educacionais.

A literatura especializada tem documentado os desafios enfrentados por instituições de ensino técnico na implementação de laboratórios de manufatura automatizada. Polastrini (2016) destaca que as máquinas CNC representam um investimento significativo para instituições de ensino, limitando o acesso dos estudantes a recursos práticos adequados. Caixeta (2016) aponta que mesmo soluções alternativas, como simuladores virtuais, apresentam barreiras devido aos custos de aquisição e requisitos de hardware compatível. Moura Neto e Antonino (2024) enfatizam que esse domínio torna os profissionais diferenciados e altamente demandados no mercado de trabalho atual.

A teoria da aprendizagem expansiva, desenvolvida por Yrjö Engeström a partir dos fundamentos da psicologia histórico-cultural de Vygotsky, Leontiev e Luria, tem demonstrado potencial para análise e transformação de sistemas de atividade complexos (Engeström, 1987, 2014; Engeström; Sannino, 2017). O presente estudo realiza uma análise teórico-conceitual sistemática, explorando como os conceitos de Engeström podem ser aplicados para compreender e superar as contradições identificadas no ensino de programação CNC.

APRENDIZAGEM DE PROGRAMAÇÃO EM COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

O Comando Numérico Computadorizado revolucionou a indústria manufatureira ao permitir que máquinas operacionais pudessem ser controladas automaticamente por meio de programas computadorizados. Essa tecnologia de automação possibilita a usinagem de peças complexas com alta precisão, repetibilidade e eficiência, superando significativamente os métodos tradicionais de usinagem manual (Barreto, 2018). O princípio básico do CNC envolve a tradução de instruções codificadas em linguagem numérica para comandos que controlam os movimentos precisos de ferramentas de corte em relação a uma peça de trabalho. Essas instruções, conhecidas como código-G, determinam parâmetros cruciais, como trajetórias de movimento, velocidades de avanço, profundidades de corte e trocas de ferramentas.

A automação dos processos de usinagem através do CNC tem proporcionado ganhos significativos em eficiência e qualidade na fabricação de peças. As máquinas CNC permitem a usinagem com tolerâncias dimensionais e acabamentos superficiais rigorosos, atendendo aos padrões exigentes de setores como aeroespacial, automotivo e de ferramentas de precisão (Groover, 2010). O domínio do CNC é um requisito imprescindível para os mecânicos modernos, proporcionando-lhes habilidades cruciais para operar máquinas avançadas, programar códigos, otimizar processos de fabricação e contribuir para a produção eficiente de peças de alta qualidade. A adoção dessa tecnologia é um passo fundamental para a manutenção da competitividade e atualização profissional dos mecânicos no cenário industrial contemporâneo. Segundo Orlando e Filho (2021), as máquinas de Comando Numérico Computadorizado proporcionam um nível superior

de precisão e eficiência na fabricação de peças complexas e personalizadas, impulsionando a criatividade e a inovação em uma ampla gama de setores industriais.

A incorporação de conhecimentos fundamentais em usinagem de Comando Numérico Computadorizado no currículo da formação de técnicos mecânicos é importante. Esse domínio torna esses profissionais diferenciados e altamente demandados no mercado de trabalho atual, visto que uma parcela significativa de fábricas e empresas dos mais diversos setores industriais tem adotado essa tecnologia avançada para a fabricação de componentes mecânicos (Moura Neto; Antonino, 2024).

Uma abordagem amplamente adotada no ensino de CNC envolve a integração de instruções teóricas e práticas, visando proporcionar aos estudantes uma compreensão sólida dos conceitos fundamentais, bem como o desenvolvimento de habilidades práticas essenciais. Na etapa de aulas teóricas, são apresentados os princípios básicos de CNC, incluindo componentes das máquinas, sistemas de coordenadas e linguagem de programação (códigos G e M). Ademais, são abordados tópicos como parâmetros de corte, seleção de ferramentas e materiais usinados, além de técnicas de programação manual e assistida por computador (CAM) (Valentino; Goldenberg, 2003). Enquanto na etapa de aulas práticas, envolve a familiarização com diferentes tipos de máquinas CNC, como tornos, centros de usinagem e fresadoras. Os estudantes praticam a configuração e setup das máquinas, incluindo seleção e troca de ferramentas, fixação de peças e definição de pontos de referência. Exercícios de programação são realizados, envolvendo a criação de códigos CNC para diversas operações de usinagem. Simulações computadorizadas e a operação prática das máquinas CNC também fazem parte dessa etapa.

Um dos principais desafios enfrentados no ensino e aprendizagem de Comando Numérico Computadorizado está relacionado aos altos custos envolvidos na aquisição e manutenção dos equipamentos necessários. As máquinas CNC, como tornos, centros de usinagem e fresadoras, representam um investimento significativo para instituições de ensino, o que pode limitar o acesso dos estudantes a recursos práticos adequados (Polastrini, 2016). Essa barreira financeira pode resultar em desafios significativos para o ensino prático de CNC. Instituições com recursos limitados podem não ter acesso a um número suficiente de máquinas para atender a todas as demandas de treinamento, comprometendo a qualidade do ensino. Ademais, a falta de equipamentos atualizados pode resultar em uma lacuna entre o que é ensinado e as tecnologias mais recentes utilizadas na indústria. Para superar essas limitações, algumas estratégias têm sido exploradas, no qual a principal alternativa tem sido o uso de simuladores virtuais de máquinas CNC, que podem complementar o treinamento prático e reduzir a necessidade de equipamentos físicos.

A utilização de simuladores virtuais de Comando Numérico Computadorizado como ferramenta didática apresenta desafios significativos. Primeiramente, a interface e a lógica operacional desses simuladores podem representar uma barreira para estudantes sem conhecimentos prévios na área, dificultando o processo de aprendizagem. Em segundo lugar, o acesso a tais simuladores é frequentemente restrito devido aos custos associados à sua aquisição, além da necessidade de hardware compatível com os requisitos computacionais exigidos (Caixeta, 2016).

Essas limitações destacam a necessidade de abordagens pedagógicas cuidadosamente planejadas para mitigar os obstáculos enfrentados pelos discentes na incorporação efetiva dos simuladores virtuais de CNC como instrumentos educacionais. Estratégias de capacitação prévia, orientação detalhada e até mesmo o desenvolvimento de soluções de código aberto e acessíveis podem ser exploradas para superar os desafios identificados e potencializar os benefícios do uso de simulações virtuais no ensino de programação e operação de máquinas CNC.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA TEORIA DE ENGESTRÖM

A teoria da aprendizagem expansiva, proposta por Yrjö Engeström, emerge como uma extensão da teoria da atividade histórico-cultural, cujas raízes remontam aos trabalhos dos psicólogos russos Vygotsky, Leontiev e Luria. Engeström ampliou essa teoria com o objetivo de elucidar os processos pelos quais indivíduos e organizações aprendem e se desenvolvem por meio da resolução de contradições internas em seus sistemas de atividade (Engeström, 2014). Engeström (1987) construiu sobre os fundamentos da psicologia histórico-cultural de Vygotsky, Leontiev e Luria, propondo a Teoria da Aprendizagem Expansiva como um arcabouço teórico para compreender e promover a aprendizagem e o desenvolvimento em sistemas de atividade complexos, como organizações, comunidades e redes de colaboração (Engeström; Sannino, 2017).

De acordo com a teoria de Engeström (1987, 2014), um sistema de atividade é composto por elementos interdependentes e interconectados, a saber: os sujeitos, que podem ser indivíduos ou grupos envolvidos na atividade; os objetos, que são os objetivos ou motivos que orientam e dão sentido à atividade; os artefatos mediadores, que englobam tanto as ferramentas conceituais e simbólicas, como modelos teóricos e linguagens, quanto as ferramentas físicas e tecnológicas utilizadas na realização da atividade; as regras, que são as normas, convenções e regulamentos que governam e regulam as ações e interações dentro do sistema de atividade; a comunidade, que se refere ao conjunto de indivíduos ou grupos que compartilham o mesmo objeto e estão envolvidos na atividade; e a divisão do trabalho, que diz respeito à distribuição de tarefas, funções e responsabilidades entre os participantes da atividade (Engeström, 1987). Segundo Engeström (2014), a interação dinâmica e contínua entre esses elementos interdependentes do sistema de atividade inevitavelmente gera tensões, conflitos ou contradições internas, as quais demandam ser resolvidas por meio de um processo de aprendizagem expansiva, que envolve a criação e implementação de novos modelos de atividade mais abrangentes e complexos.

A estrutura do sistema de atividades, ilustrado na Figura 1, apresenta os elementos da teoria elaborada por Engeström, bem como suas interações.

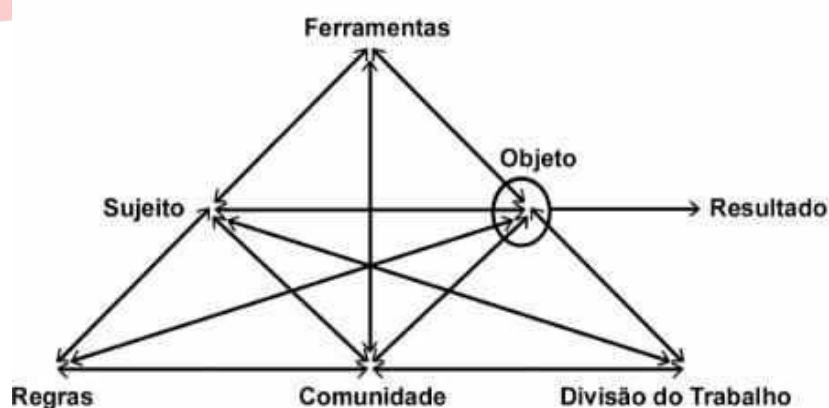


Figura 1: Estrutura de um sistema de atividades humanas
Fonte: Engeström (1987).

As ferramentas, na teoria de Engeström, são concebidas de forma ampla, abrangendo não apenas artefatos físicos, mas também instrumentos simbólicos, como linguagem, sinais, procedimentos e sistemas de símbolos. Essas ferramentas são incorporadas nas atividades humanas e servem como meios pelos quais os sujeitos atuam sobre os objetos, regulando e transformando suas ações (Cassandre; Querol, 2014).

As ferramentas geralmente refletem a experiência de outras pessoas que tentaram resolver problemas semelhantes antes e inventaram ou modificaram a ferramenta para torná-la mais eficiente e útil. Essa experiência é acumulada em propriedades estruturais das ferramentas (forma, tamanho, material) e o conhecimento de como a ferramenta deve ser usada. (Kaptelinin; Nardi; Macaulay, 1999, p. 31).

Engeström distingue dois tipos de ferramentas: as ferramentas externas, que são os artefatos físicos e simbólicos utilizados pelo sujeito na atividade, e as ferramentas internas. Segundo Daniels (2008), as ferramentas internas são as habilidades mentais, modelos cognitivos e conhecimentos internalizados pelo sujeito ao longo de seu desenvolvimento e experiências, construídas através da interação com as ferramentas externas e com os outros elementos do sistema de atividade. A noção de ferramenta na teoria de Engeström destaca o papel mediador desses instrumentos na atividade humana, enfatizando que as ações dos indivíduos são moldadas pelas ferramentas disponíveis e pelos significados culturais e históricos associados a elas. Além disso, a interação entre as ferramentas externas e internas é vista como um processo dialético, onde as ferramentas externas influenciam o desenvolvimento das ferramentas internas, e vice-versa.

O sujeito, na teoria da atividade de Engeström, refere-se ao indivíduo ou grupo envolvido na realização de uma atividade específica. Conforme Kaptelinin e Nardi (2006), pessoas agem como sujeitos no mundo, construindo e concretizando suas intenções como objetos. O sujeito é o agente ativo que atua sobre o objeto, utilizando-se de ferramentas e seguindo certas regras e divisões de trabalho dentro de uma comunidade. O sujeito é considerado como um ser intencional, motivado por necessidades e objetivos que orientam suas ações. Suas ações são mediadas por ferramentas (físicas e simbólicas) e influenciadas por fatores sociais, culturais e históricos. O sujeito não é visto como um agente isolado, mas sim como parte de um sistema de atividade coletiva, no qual interage com outros indivíduos e é moldado pelas normas, regras e divisões de trabalho estabelecidas.

O objeto é o componente sobre o qual o sujeito atua e para o qual a atividade é direcionada. Ele representa o motivo ou o propósito subjacente à atividade, sendo o alvo das ações do sujeito. O objeto pode ser material (como um produto a ser fabricado) ou imaterial (como um conceito a ser compreendido ou um problema a ser resolvido). O objeto é considerado um elemento central na teoria da atividade, pois é através dele que o sujeito e a comunidade se conectam e atribuem significado à atividade. Sannino e Laitinen (2015, p. 1) destacam que o objeto é o "fator motivador e o propósito geral por trás da atividade coletiva". Eles argumentam que o objeto é um conceito central que ajuda a explicar a intencionalidade coletiva e como as atividades são moldadas e transformadas ao longo do tempo. Foot (2014) enfatiza que o objeto não é apenas um alvo estático, mas um espaço de negociação constante que é continuamente construído e reconstruído pelos participantes da atividade. Ela sugere que o objeto é um horizonte móvel que direciona e dá sentido às ações dos sujeitos. Bligh e Crook (2017) exploraram a noção de objeto na Teoria da Atividade no contexto da aprendizagem em ambientes digitais. Eles sugerem que o objeto pode ser conceitual ou material e que ele é construído e reconstruído através da interação dos participantes com as ferramentas e artefatos disponíveis.

O vínculo entre o sujeito e o objeto não é uma relação estática e unidirecional, mas sim um processo dialético e interconstitutivo. Sujeito e objeto se influenciam mutuamente, se transformando e se constituindo um ao outro de maneira dinâmica e contínua. Não há uma separação rígida entre ambos, mas uma interação constante. O sujeito age sobre o objeto, transformando-o, e ao mesmo tempo, é transformado pelo próprio processo de interação com o objeto. Essa relação é mediada pelas ferramentas utilizadas, pelas regras e divisões de trabalho estabelecidas na comunidade, e pelos significados culturais e históricos envolvidos. Leont'ev (1978) argumenta que o sujeito age sobre o objeto, transformando-o, e, ao mesmo tempo, é transformado pelo processo de interação com o objeto.

UTILIZAÇÃO DA TEORIA DE ENGESTRÖM PARA CNC ATRAVÉS DE PRODUTO EDUCACIONAL

Na teoria da atividade de Engeström, o objeto representa aquilo sobre o qual a atividade é direcionada e para o qual o sujeito atua. No contexto educacional, um produto educacional, como um material didático, um software educativo ou um recurso pedagógico, pode ser considerado como o objeto da atividade. O sujeito, nesse caso, pode ser representado pelos estudantes, individualmente ou em grupo, que interagem com o produto educacional com o objetivo de adquirir conhecimento. Esses sujeitos são vistos como agentes ativos e intencionais, motivados pela necessidade de aprendizagem e pela busca de novos saberes.

Um software educativo pode ser considerado como o objeto da atividade de aprendizagem. Segundo Martins (2007, p. 15) "o objeto é o elemento para o qual as ações da atividade estão direcionadas, um objeto pode ser algo material, ou algo menos tangível, como um plano ou um conceito qualquer". Os estudantes (sujeitos) interagem com esse software por meio do computador, que atua como a ferramenta externa principal mediando essa relação. O computador, nesse contexto, é uma ferramenta física e simbólica que permite aos estudantes acessarem e utilizarem o software educativo. Ele fornece a interface por meio da qual os alunos navegam, interagem com os conteúdos e realizam as atividades propostas pelo software. Além do computador como ferramenta externa, os estudantes também utilizam ferramentas internas, como habilidades de raciocínio, estratégias de aprendizagem e conhecimentos prévios, para guiar suas ações e compreender os conceitos abordados pelo software.

A atividade de aprendizagem ocorre dentro de uma comunidade, que pode ser a sala de aula, a instituição de ensino ou mesmo um ambiente virtual de aprendizagem. Essa comunidade estabelece regras e divisões de trabalho que regulam as interações e papéis dos participantes, como as normas de conduta, as expectativas de desempenho e as responsabilidades atribuídas aos estudantes, professores e outros atores envolvidos.

Ao interagirem com o produto educacional (objeto), os estudantes (sujeitos) utilizam as ferramentas disponíveis e seguem as regras e divisões de trabalho estabelecidas na comunidade. Durante esse processo, eles transformam o objeto, desenvolvendo novos conhecimentos, habilidades e compreensões. Ao mesmo tempo, os próprios estudantes são transformados pela atividade, internalizando os conceitos e estratégias de aprendizagem. O resultado desejado dessa atividade é a aquisição de conhecimento pelos estudantes. No entanto, de acordo com a teoria de Engeström, esse resultado não é estático, mas sim um processo contínuo de transformação e evolução. À medida que os estudantes interagem com o produto educacional e adquirem novos conhecimentos, eles podem desenvolver novos objetivos e motivos, levando a uma constante redefinição do objeto e das próprias ferramentas e regras envolvidas na atividade.

O ciclo de aprendizagem expansiva, tal como delineado por Engeström (2001), constitui-se de sete fases interdependentes: (1) questionamento da prática existente; (2) análise das situações em que emergem contradições; (3) modelagem de uma nova solução; (4) realização de estudos de campo para testar o novo modelo; (5) implementação do novo modelo em larga escala; (6) reflexão sobre o processo; e (7) consolidação da nova prática como a atividade dominante.

Na fase de questionamento da prática existente e análise das situações, a literatura especializada evidencia que a dificuldade financeira enfrentada por instituições e/ou alunos para adquirir máquinas CNC ou softwares para simulação de programação representa uma barreira significativa para o acesso à aprendizagem de CNC (Polastrini, 2016; Caixeta, 2016). Essa limitação de ferramentas e recursos materiais restringe as oportunidades de desenvolvimento de habilidades práticas essenciais nessa área. As ferramentas tradicionalmente utilizadas, como máquinas CNC físicas e softwares de simulação, atuam como mediadores externos da relação entre os estudantes

e o objeto de aprendizagem. No entanto, o acesso limitado a essas ferramentas, devido a restrições financeiras, cria uma contradição dentro do sistema de atividade.

Nesse contexto, a modelagem de uma nova solução, conforme proposto na terceira fase, envolve a introdução de um produto educacional alternativo, possivelmente um software ou recurso digital, que pode ser projetado de forma acessível e economicamente viável, permitindo que estudantes e instituições superem as barreiras financeiras anteriormente enfrentadas. Medeiros (2021) enfatiza que o processo de aprendizagem expansiva implica no desenvolvimento de novos conhecimentos e novas práticas voltados para atividades emergentes. Ao estabelecer o software educacional como o objeto central do sistema de atividade dedicado ao aprendizado de programação de Comando Numérico Computadorizado, cria-se um cenário propício para a conclusão das quatro etapas finais do ciclo de aprendizagem expansiva delineado por Engeström. Essa trajetória, detalhada na Tabela 1, engloba a implementação da nova solução, reflexão sobre o processo, consolidação de uma nova prática e revisão das necessidades.

Tabela 1: Quatro fases restantes a teoria de Engeström

Etapas para concluir a teoria de Engeström	Descrição das etapas
Implementação da nova solução	O software educacional desenvolvido seria efetivamente implementado como recurso pedagógico nas instituições de ensino ou ambientes de aprendizagem voltados para a programação de CNC. Os estudantes (sujeitos) teriam acesso ao software e seriam orientados a utilizá-lo como objeto principal de interação para o desenvolvimento de suas habilidades práticas.
Reflexão sobre o processo	Durante a utilização do software, os sujeitos (estudantes e professores) seriam incentivados a refletir criticamente sobre o processo de aprendizagem mediado por essa nova ferramenta de ensino. Aspectos como a eficácia do software em transmitir os conceitos e proporcionar experiências práticas, a motivação e o engajamento dos estudantes, bem como possíveis limitações ou desafios enfrentados, seriam analisados.
Consolidação de uma nova prática	Com base nas reflexões e experiências adquiridas, a nova prática de ensino-aprendizagem de programação de CNC, centrada no uso do software educacional como objeto de interação, seria gradualmente consolidada. Ajustes e melhorias contínuas poderiam ser implementados no software, bem como nas estratégias pedagógicas empregadas pelos professores, visando otimizar a eficácia do processo de aprendizagem.
Revisão das necessidades	Nesta etapa final, as necessidades iniciais que motivaram o desenvolvimento do software educacional seriam revisitadas. Uma avaliação crítica seria realizada para determinar se as demandas por acesso equitativo e acessibilidade financeira à aprendizagem de programação de CNC foram efetivamente atendidas pelo uso do software como objeto central. Novas necessidades ou desafios emergentes também seriam identificados, alimentando um novo ciclo de transformações e melhorias futuras.

Fonte: Adaptado do Engeström (2001).

No contexto do uso de um software educacional para o ensino de programação CNC, a teoria da atividade de Engeström (2013) destaca o papel fundamental da comunidade, juntamente com outros elementos como o sujeito (estudante/aprendiz), o objeto (software educacional), as ferramentas (computador) e as regras e divisão do trabalho. A comunidade representa o contexto sociocultural no qual a atividade de aprendizagem ocorre, podendo ser uma sala de aula, um lar ou um ambiente de trabalho. Os sistemas de atividades podem ser observados na Figura 2, onde para cada sistema é configurado uma comunidade diferente.

Em uma sala de aula, a comunidade é composta por estudantes, professores, equipe escolar e outros atores envolvidos no processo educacional. Essa comunidade estabelece regras, como horários de aula, códigos de conduta e divisão de responsabilidades entre alunos e docentes. Ela também fornece a infraestrutura necessária, incluindo computadores e o software educacional para programação CNC. No contexto do lar, a comunidade é representada pela família ou grupo doméstico. As regras e normas são estabelecidas pelos responsáveis, regulando o uso do software e do computador pelos estudantes em casa. A comunidade familiar oferece recursos como computadores e espaços de estudo. Já em um ambiente de trabalho, a comunidade pode ser formada por colegas, equipes, supervisores e a organização como um todo. As regras e divisão de trabalho são definidas pela empresa, assim como os recursos disponibilizados, como computadores, salas de treinamento e o próprio software educacional para capacitação em programação CNC.

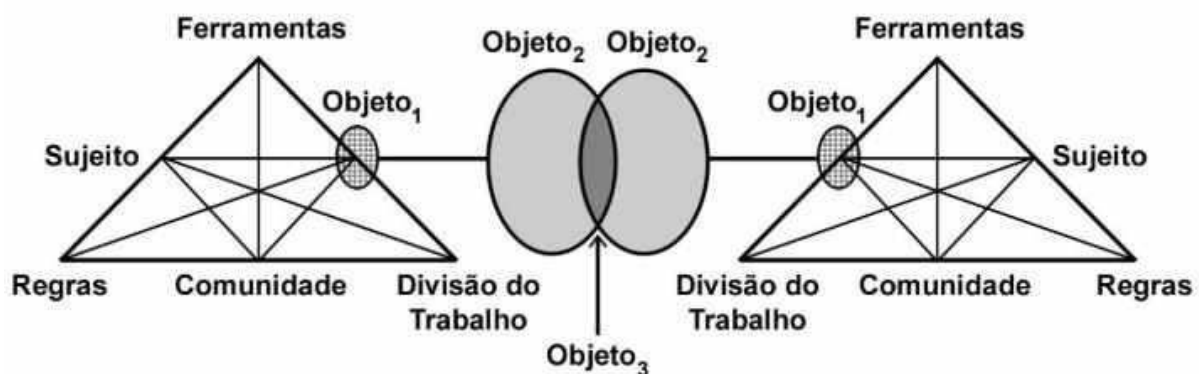


Figura 2: Sistemas de atividades da Teoria de Engeström

Fonte: Engeström (2013).

Independentemente do contexto, o computador desempenha o papel de ferramenta essencial, permitindo o acesso e a interação com o software educacional, que é o objeto central da atividade de aprendizagem. A comunidade fornece o ambiente sociocultural, as normas, os recursos e as interações sociais que moldam as ações dos sujeitos (estudantes/aprendizes) em relação ao software.

O resultado desejado dessa atividade é a aquisição de conhecimentos e habilidades em programação CNC pelos sujeitos, alcançada por meio da interação com o software educacional, utilizando o computador como ferramenta mediadora, dentro do contexto sociocultural estabelecido pela comunidade específica (sala de aula, lar ou ambiente de trabalho). A análise da comunidade destaca como as ações dos indivíduos são influenciadas pelo contexto sociocultural, incluindo regras, divisão de trabalho e recursos disponíveis. Compreender essas dinâmicas é essencial para entender e transformar efetivamente as atividades de aprendizagem mediadas por produtos educacionais como softwares, visando alcançar o resultado desejado de conhecimento em programação CNC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A aplicação da teoria da aprendizagem expansiva de Engeström para o aprendizado de CNC, por meio de um produto educacional na forma de um software educativo, trará benefícios a diversas comunidades, sejam elas a sala de aula, o lar do aluno ou o ambiente de trabalho. Este objeto de aprendizagem, o software educativo, poderá ser utilizado em todos esses contextos, proporcionando vantagens ao sujeito aprendiz e tendo como resultado desejado o efetivo aprendizado em CNC.

Os softwares de CNC atualmente disponíveis no mercado dificultam o aprendizado pelos alunos em suas residências devido aos altos preços exigidos. Da mesma forma, no ambiente de trabalho, os operadores encontram barreiras para utilizar esses softwares com fins didáticos, já que eles não

foram projetados com esse propósito educacional. O uso de um produto educacional específico permitirá superar essas limitações financeiras e didáticas, possibilitando que o indivíduo adquira conhecimentos em programação CNC. Por seu caráter instrutivo, um *software* poderá ser empregado tanto no lar do aluno quanto no local de trabalho, auxiliando efetivamente no aprendizado de programação CNC.

A introdução desse objeto de aprendizagem nas diferentes comunidades constituirá uma solução para as contradições atualmente existentes no processo de ensino-aprendizagem de programação CNC. Após sua utilização, será possível refletir sobre o processo percorrido, consolidar as novas práticas adquiridas e rever eventuais necessidades remanescentes, tendo como meta o efetivo aprendizado em CNC por parte dos sujeitos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, Rita Anne Andrade. **Projeto detalhado de uma máquina CNC Router**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2018.
- BLIGH, Brett; CROOK, Charles. Learning spaces. In: DUVAL, Erik; SHARPLES, Mike; SUTHERLAND, Rosamund (Org.). **Technology enhanced learning: Research themes**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 69-87.
- CAIXETA, Filipe Alves. **Projeto de um simulador de máquinas CNC em plataforma web**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecatrônica) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CASSANDRE, Marcio Pascoal; QUEROL, Marco Antonio Pereira. Metodologias intervencionistas: contribuição teórico-metodológica vigotskianas para aprendizagem organizacional. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 8, n. 1, p. 17-34, 2014.
- DANIELS, Harry. **Vygotsky and research**. London: Routledge, 2008.
- ENGESTRÖM, Yrjö. **Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research**. Helsinki: Orienta-Konsultit. 1987.
- ENGESTRÖM, Yrjö. Expansive learning at work: Toward an activity theoretical reconceptualization. **Journal of education and work**, v. 14, n. 1, p. 133-156, 2001.
- ENGESTRÖM, Yrjö. Aprendizagem expansiva: por uma reconceituação pela teoria da atividade. In: ILLERIS, Knud. (org.). **Teorias contemporâneas da aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2013. p. 68-90
- ENGESTRÖM, Yrjö. **Activity theory and learning at work**. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- ENGESTRÖM, Yrjö; SANNINO, Annalisa. Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. **Introduction to Vygotsky**, p. 100-146, 2017.
- FOOT, Kirsten A. Cultural-historical activity theory: Exploring a theory to inform practice and research. **Journal of Human Behavior in the Social Environment**, v. 24, n. 3, p. 329- 347, 2014.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. John Wiley & Sons, 2010.

KAPTELININ, Victor; NARDI, Bonnie A.; MACAULAY, Catriona. Methods & tools: The activity checklist: a tool for representing the "space" of context. **interactions**, v. 6, n. 4, p. 27-39, 1999.

KAPTELININ, Victor; NARDI, Bonnie A. **Acting with technology: activity theory and interaction design**. Cambridge: MIT Press, 2006.

LEONT'EV, Alekseï Nikolaevich. **Activity, consciousness, and personality**. Hillsdale: Prentice-Hall. 1978.

MARTINS, Luiz Eduardo Galvão. Teoria da atividade: um paradigma possível para elicitação de requisitos de software. In: workshop um olhar sociotécnico sobre a engenharia de software - woses, 3., 2007, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas, 2007.

MEDEIROS, Simone Maria de Andrade. A teoria da atividade em Vygotsky, Leontiev e Engeström: os fundamentos da aprendizagem expansiva. **Revista HISTEDBR On-line**, v. 21, p. 21-24, 2021.

MOURA NETO, Luís Gomes de; ANTONINO, Tiago de Sousa. Elaboração de um guia didático para o ensino das aulas práticas em um Centro de Usinagem Educacional. **Revista Semiárido De Visu**, v. 12, n. 1, p. 512-529, 2024.

ORLANDO, Alex Júnior; FILHO, Ramilio Reis. Evolução do comando numérico computadorizado. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 606-617, 2021

POLASTRINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de uma máquina CNC de baixo custo com software e hardware abertos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Instituto Federal de Minas Gerais, Formiga, 2016.

SANNINO, Annalisa; LAITINEN, Anne. Double stimulation in the waiting experiment: Testing a Vygotskian model of the emergence of volitional action. **Learning, culture and social interaction**, v. 4, p. 4-18, 2015.

VALENTINO, James V.; GOLDENBERG, Joseph. **Introduction to computer numerical control**. 4 ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 2007.