

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Repensando o aprendizado na indústria: o caso do *ramp-up* de uma oficina
de virolas**

Victor Bernardino Silva

BELO HORIZONTE

2017

Victor Bernardino Silva

Repensando o aprendizado na indústria: o caso do *ramp-up* de uma oficina de virolas

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia de Produção

Linha de pesquisa: Estudos Sociais do Trabalho, Tecnologia e Expertise.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro

BELO HORIZONTE

2017

S586r	<p>Silva, Victor Bernadino.</p> <p>Repensando o aprendizado na indústria [manuscrito] : o caso do <i>ramp-up</i> de uma oficina de virolas / Victor Bernadino Silva. - 2017.</p> <p>68 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Rodrigo Ribeiro.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 67-68.</p> <p>1. Engenharia de produção - Teses. 2. Curva de aprendizagem (Engenharia industrial) - Teses. 3. Eficiência industrial - Teses. I. Ribeiro, Rodrigo Magalhães. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 658.5(043)</p>
-------	--

Agradecimentos

Ao professor Rodrigo Ribeiro, que desde nossa primeira conversa sobre a participação na pesquisa demonstrou uma empatia e um apoio que foram muito além das questões acadêmicas. Só tenho que agradecer por tudo que se passou nesse processo, muito obrigado!

Ao professor Chico, pelo grande apoio metodológico e bibliográfico.

Aos integrantes da banca examinadora.

À FAPEMIG-VALE pelo financiamento da pesquisa.

Aos caldeireiros da oficina de violas, pelo apoio e abertura à pesquisa.

À minha mãe, Eliana, por me apoiar e aturar meu cansaço e mau humor nas voltas das viagens ao Pará, sempre indo me buscar com o carinho e disposição usuais. Obrigado por tudo!

Ao meu pai, Vanderlan, por sempre começar nossos papos com a usual pergunta: “e o mestrado? Não deixa de focar nisso não hein, vai ser muito importante pra você terminar”. Muito obrigado pelo apoio e por me dar forças para continuar esse trabalho.

E por fim, à Marjorie, por ser tão compreensiva e companheira, me incentivando e aceitando as várias horas em que não pudemos estar juntos nos fins de semana, devido a dedicação ao trabalho. Muito obrigado, você é demais!

RESUMO

Historicamente, os conceitos de aprendizado e produtividade na indústria tenderam a se confundir, fazendo com que esses termos fossem utilizados muitas vezes com o mesmo propósito: falar sobre a evolução da produtividade com o tempo. Muito dessa significação dada veio pela abordagem mais tradicional na literatura, a das curvas do aprendizado (CA). A presente pesquisa irá repensar essas discussões sobre o aprendizado na indústria, mostrando que a evolução da produtividade é, na verdade, uma consequência do processo de aprendizagem. Para tal, será apresentado um estudo de caso sobre o *ramp-up* de uma oficina de tubos metálicos (virolas), posicionando os fatos e as decisões que foram tomadas durante esse processo e mostrando como isso afetou o processo de aprendizagem e conseqüentemente a produtividade da oficina. A metodologia utilizada é inovadora dentro dessa discussão sobre curvas de aprendizado, dado que a pesquisa em campo foi feita durante o processo de aprendizagem, enquanto os estudos sobre o assunto discutem os resultados de produtividade sempre *a posteriori*. Em um contexto mais amplo, a pesquisa realizada se deu em uma planta industrial de ferro-níquel em uma área remota no norte do Brasil, onde a oficina de virolas era uma de suas áreas de apoio. O *ramp-up* dessa indústria não seguiu o que era planejado em termos de tempo e eficiência. Similarmente, o *ramp-up* da área de virolas também foi complicado, o que faz da oficina um reflexo (ou um espelho) desse processo na planta industrial. Entre as principais atividades que a dissertação traz contribuições estão: (1) definição de mix de contratação e composição de célula de produção, (2) especificação de compra de equipamentos e seleção de fornecedores e (3) definição de modelos de organização do trabalho.

Palavras-chave: Aprendizado na indústria; curvas de aprendizado; expertise; organização do trabalho; *ramp-up*;

ABSTRACT

Historically, the concepts of learning and productivity in industry have tended to be used for the same purpose: to talk about the evolution of productivity over time. Much of this significance came from the more traditional approach in literature: the learning curves (LC). The present research will rethink these discussions about learning in industry, showing that the evolution of productivity is actually a consequence of the learning process. To this end, a case study will be presented on the ramp-up of a metal tube workshop (ferrules), positioning the facts and decisions that were made during this process and showing how this affected the learning process and consequently the productivity of the workshop. The methodology used is innovative within this discussion about learning curves, given that the field research was done during the learning process, while the studies on this subject always discuss the results of productivity *a posteriori*. In a broader context, the research was carried out in an industrial iron-nickel plant in a remote area in northern Brazil, where the ferrule workshop was one of its support areas. The ramp-up of this industry did not follow what was planned in terms of time and efficiency. Similarly, the ramp-up of the ferrule area was also complicated, which makes the workshop a reflection (or a mirror) of that process in the industrial plant. Among the main activities that the dissertation contributes are: (1) definition of the mix of contracting and composition of the production cell, (2) specification of the purchase of equipment and selection of suppliers, and (3) definition of work organization models.

Keywords: Industrial learning; learning curves; expertise; industrial organization; ramp-up;

Figuras

<i>Figura 1 - Curvas de produção projetada versus tempo de desenvolvimento. McNulty (2004)</i>	10
<i>Figura 2 - Modelo revisado do processo aprendizagem proposto em Adler e Clark (1991)</i>	12
<i>Figura 3 - Visão interna do forno de redução.</i>	26
<i>Figura 4 – Fotos da virola e seus componentes.</i>	27
<i>Figura 5 - Fluxograma de produção de virolas.</i>	28
<i>Figura 6 - Fluxograma de produção em fotos.</i>	29
<i>Figura 7 - Linha do tempo dos fatos e evolução dos dados de produção da oficina.</i>	32
<i>Figura 8 - Esquema demonstrando o 'bico na virola'.</i>	34
<i>Figura 9 - Esquema demonstrando o formato de duodecágono.</i>	34
<i>Figura 10 - Foto retirada do relatório de rejeição das peças.</i>	35
<i>Figura 11 – Solda das costelas na virola</i>	37
<i>Figura 12 -Comparativo entre as calandras da EP (primeira foto) e da EE (segunda foto).</i>	42
<i>Figura 13 - Fluxo padrão para processos de compra de novos equipamentos dentro da EP.</i>	43
<i>Figura 14 - A segunda calandra comprada pela EP.</i>	44
<i>Figura 15 - A foto à esquerda foi tirada na EE em 2010, e a da direita é da EP em março de 2011.</i>	48
<i>Figura 16 – Plataforma de solda das virolas.</i>	50
<i>Figura 17 – Gabarito novo na calandra.</i>	51
<i>Figura 18 – (Re)criação de uma calandra.</i>	52
<i>Figura 19 – Gabaritos criados para montagem da virola no eletrodo.</i>	53
<i>Figura 20 – Novo anel criado para sustentação da virola.</i>	54
<i>Figura 21 – “Palete” metálico criado para transporte da virola.</i>	55

Tabelas

<i>Tabela 1 - Tabela de nomes fictícios para as empresas e pessoas envolvidas no trabalho</i>	23
<i>Tabela 2 - Tabela com as dimensões de cada componente da virola</i>	27

Sumário

Capítulo 1. Introdução.....	1
Capítulo 2. Revisão de literatura.....	4
2.1 Os estudos tradicionais em Curvas do Aprendizado (CA).....	5
2.2 Estudo críticos em CA: o processo de aprendizagem no centro da pesquisa.....	10
2.3 A discussão fora da CA: o aprendizado na visão dos estudos sociais da tecnologia e expertise e da organização do trabalho.....	14
2.4 Discussão da literatura: resumindo e caminhando para o estudo de caso.....	17
Capítulo 3. Contexto de pesquisa.....	20
3.1 Metodologia e Estudo de Campo.....	20
3.2. Limites de pesquisa e papel dos envolvidos na narrativa.....	22
Capítulo 4. O estudo de caso.....	25
4.1 O processo pirometalúrgico e o papel do eletrodo nesse processo.....	25
4.2 O fluxo de fabricação da virola.....	28
4.3 A importância da virola, dados sobre a demanda e linha cronológica da produção.....	30
4.4 1º Momento - do “complexo” ao “simples”, terceirizando o problema.....	33
4.5 2º momento - assumindo a produção: aspectos antes desconsiderados.....	41
4.6 3º Momento - a (re)criação e a inovação no chão de fábrica.....	46
4.6.1 Inovações incrementais: novos dispositivos e ferramentas.....	47
4.6.2 (Re)criação de equipamentos.....	51
4.6.3 Melhorias no processo de montagem: outras inovações vistas no campo.....	52
Capítulo 5. Discussão.....	56
Capítulo 6. Conclusão.....	64
REFERÊNCIAS.....	67

Capítulo 1. Introdução

Esta dissertação de mestrado tem como foco o processo de aprendizagem na indústria. Para tal, ela dialoga com os estudos sobre as curvas de aprendizado (CA), abordagem majoritária na literatura sobre o tema. Para posicionar o presente estudo e facilitar o entendimento do leitor, os estudos em CA serão divididos em dois segmentos: os estudos tradicionais de CA e os estudos críticos em CA. Uma terceira vertente de estudos que serão trazidos para o diálogo são as pesquisas em Estudos Sociais da Tecnologia e Expertise que tem relação com aquisição de habilidades e no posicionamento do papel da experiência no aprendizado. Esses estudos ajudam a completar os estudos em CA, dado que eles aprofundam em temas sobre o *como* o aprendizado ocorre.

No contexto de diálogo com essas pesquisas, o caso empírico que será apresentado levanta discussões importantes sobre o aprendizado na indústria. A pesquisa que levou a esse estudo de caso teve como local uma indústria de beneficiamento de Níquel, construída em uma área remota no norte do Brasil. O cenário da planta industrial pesquisada era de escassez de mão de obra e de fornecedores locais, por estar situada em uma área remota na Amazônia brasileira; ademais, tratava-se de um empreendimento novo para a empresa, cujo foco sempre foi a mineração de minério de ferro e que nunca havia construído uma planta dessa natureza. Era, portanto, uma fábrica nova em um segmento novo, tornando o caso particularmente difícil em termos de aprendizado para os profissionais contratados.

O estudo de caso aborda um dos processos dessa fábrica, o *ramp-up* (ou “início da produção”) de uma oficina de tubos metálicos, chamados de virolas. O processo utilizado para realizar a redução do minério de ferro-níquel na empresa é a pirometalurgia, que consiste no aquecimento do material para a separação dos elementos da liga. Esse aquecimento acontece principalmente dentro de fornos de redução, e a fonte desse calor são os arcos elétricos formados por eletrodos energizados. Os tubos metálicos produzidos na oficina pesquisada formam a “casca” desses eletrodos, e, por ser um processo contínuo, essas peças vão sendo consumidas pelo forno à medida que o processo vai ocorrendo. Essa necessidade de reposição contínua e os problemas de parada de produção que podem ser gerados por possíveis defeitos de qualidade tornam a virola uma peça crítica no processo da indústria.

Abordando um pouco as características metodológicas do estudo, o objetivo da escolha dos métodos foi tentar refletir o que aconteceu na prática da oficina. Para tanto, foram utilizados

elementos de etnografia e *grounded theory (GT)*, com uma presença grande em campo, com acompanhamento da produção e entrevistas. Existia na literatura de CA uma lacuna importante nesse sentido, que é o entendimento *in loco* de como o processo de aprendizagem ocorre. Com a realização desse projeto, que acompanhou *in loco* grande parte do desenvolvimento da oficina, o estudo acaba se posicionando e preenchendo essa lacuna da literatura.

No universo da indústria de Níquel, a implementação dessa oficina de apoio poderia ser considerada relativamente “simples”, se comparada ao restante dos processos pirometalúrgicos. Porém, ao estudar essa área, deparamo-nos, em uma escala micro, com diversos problemas semelhantes às dificuldades encontradas pela empresa no *ramp-up* do projeto da planta industrial. Assim, esse caso se mostrou representativo por refletir vários aspectos sobre o aprendizado em *ramp-ups* que toda a empresa passou na implantação dessa indústria.

Entre as contribuições da presente pesquisa estão o (1) posicionamento do papel da capitalização das experiências no aprendizado na indústria e (2) um nova proposta de avaliação do aprendizado por meio da quantificação de inovações incrementais geradas pelos operadores, distinto da lógica preponderante na literatura, que é a avaliação exclusivamente por evolução de produtividade. O caso nos possibilita a chegar nessas contribuições por meio da análise de um caso em que a empresa demorou mais de 1 ano para fabricar a primeira peça, mas que após isso levou apenas três meses para atingir a meta de produção de 40 peças por mês. São as variáveis e as decisões por trás dessa evolução da produtividade da oficina que são o objeto principal do estudo.

Para introduzir essa história, primeiro é importante também revisar os estudos que o caso dialogará. Assim, a primeira sessão é uma revisão de literatura, que termina com uma discussão e um resumo do que será aprofundado no caso. Feito isso, o estudo de caso será iniciado com o contexto de pesquisa, que trará uma explicação sobre a abordagem metodológica utilizada na pesquisa, seguido pela história da oficina de violas. O estudo abordará o horizonte de construção e desenvolvimento dessa oficina, de 2010 até 2015. Nesse segmento, dividimos e destacamos três momentos principais do caso: a (1) terceirização inicial da produção da peça e os primeiros passos da oficina, a (2) compra dos equipamentos, início e *ramp-up* da produção e (3) a estabilização da produção e as inovações incrementais vistas no processo.

Tendo revisado a literatura e passado pela história do caso empírico, será possível, então, discutir a relação do estudo de caso com a literatura proposta, mostrando os pontos em que a história corrobora os modelos propostos e as contribuições específicas da pesquisa. Para

finalizar, essas relações entre o caso e a literatura serão resumidas e concluído no último tópico do texto, apontando para práticas e pesquisas futuras dentro desse campo de estudo.

Capítulo 2. Revisão de literatura

Historicamente, o termo aprendizado na indústria vem sendo utilizado para descrever a capacidade de se produzir mais unidades em um menor espaço de tempo, confundindo-se, assim, com a ideia de produtividade. Essa produtividade normalmente chega a um limite, quando as taxas de produção não sofrem mais grandes alterações, momento esse chamado de estabilização do processo produtivo. Para esses estudos, portanto, a estabilização da produção seria entendida também como o momento em que o indivíduo ou organização aprenderam certa atividade produtiva.

A relação entre níveis de produtividade e os tempos para alcançá-los foi discutida no artigo seminal de Wright (1936), iniciando o estudo das chamadas Curvas do Aprendizado (CA). O que chamou a atenção do autor na época foi o fato de os custos de produção de aeronaves decrescerem com o tempo, suscitando pesquisas para entender os caminhos que esse custo percorria até chegar em um valor estável. Economicamente, entender esses custos era importante, mas para a engenharia também era necessário compreender como se comportava a produtividade, de modo a considerar esses padrões nas estimativas de novos projetos industriais. Com o passar do tempo, diferentes curvas foram encontradas em diferentes contextos de produção. Essas diferenças geraram diversos estudos para modelar quais fatores poderiam afetar a curva no tempo, ampliando as pesquisas nesse campo de estudo.

Para categorizar e distinguir os diferentes artigos em CA encontrados na literatura, serão adotados dois parâmetros: (1) método utilizado e (2) fontes de aprendizado consideradas. Para o método de análise será feita diferenciação entre métodos prioritariamente quantitativos ou qualitativos, ou seja, em um extremo, estudos que consideram apenas a modelagem matemática para analisar os dados e tirar análises dos resultados e, em outro extremo, estudos que avaliam apenas como as pessoas aprendem no trabalho, normalmente se valendo de entrevistas ou discussões sobre o processo de aprendizagem. Existe ainda uma terceira vertente intermediária, que avalia o processo de aprendizagem associado a modelagem de dados matemáticos. Quanto às fontes de aprendizado consideradas, temos artigos que acabam avaliando apenas a prática como geradora de aprendizado, enquanto outros começam a explorar outras fontes, tais como treinamentos, modificações de engenharia e experimentações no trabalho, as quais acabam ficando “escondidas” na avaliação matemática das CA.

Com base nessa categorização, os estudos de caso serão divididos em duas categorias, para facilitar a leitura: os estudos tradicionais em CA e os estudos críticos em CA. Como já mencionado, a história das CA iniciou-se com a representação matemática do formato da curva de produtividade com o tempo. Assim, o que se observa é que maioria das pesquisas nesse campo de estudo segue essa linha quantitativa, buscando enquadrar, a partir dos dados, qual a curva melhor representa cada caso. Por serem a maioria e estarem diretamente ligados ao início das pesquisas, estes serão os chamados *estudos tradicionais em CA*.

A partir dessa abordagem tradicional, porém, alguns autores começaram a questionar esse método de análise. Como o objetivo inicial era o de gerar curvas no tempo, acabaram ficando para segundo plano nas pesquisas os motivos para cada curva assumir cada formato, ou seja, o *como* as pessoas aprendem no trabalho. Esse questionamento acabou gerando novos estudos, cujo principal objetivo era entender o que estava por trás das CA e, a partir disso, gerar modelos que representassem o processo de aprendizagem, e que fossem capazes de auxiliar gestores a tomar decisões para tentar minimizar os tempos para atingir a estabilidade de produção. Por terem em comum críticas ao modelo tradicional de CA, esses estudos serão categorizados de *estudos críticos em CA* e serão aprofundados no segundo tópico da revisão de literatura.

Para finalizar a base literária da discussão do estudo de caso, é necessário abordar um terceiro tópico de pesquisas. Por detalharem a produção e mostrar as evoluções e papéis dos envolvidos, é importante também contextualizar o leitor em alguns conceitos pertinentes a organização do trabalho e aos estudos sociais da tecnologia e expertise. Esses conceitos irão ajudar a entender, nos próximos capítulos, como era a estrutura organizacional da oficina e a relação dos operadores entre si e com o meio tecnológico, formado por ferramentas e equipamentos da oficina. Além dessa contextualização, esses estudos também apresentam algumas análises complementares ao estudo de CA, por aprofundarem-se em assuntos que acabam sendo tratados superficialmente pelas CA, dado o objetivo dessa literatura. Esses três tópicos facilitarão a leitura do caso e a sua posterior discussão e conclusão.

2.1 Os estudos tradicionais em Curvas do Aprendizado (CA)

Os estudos sobre o aprendizado em empresas são, em sua maioria, focados nos dados quantitativos de casos empíricos. A lógica geral dessa literatura é extrair dos dados de produção correlações e gráficos que indiquem o comportamento da produtividade com o passar do tempo. Para indicar as correlações, primeiro os pesquisadores precisam enquadrar o caso com base alguns parâmetros relacionados ao tipo de operação estudada, para então rodar ou construir

novos modelos matemáticos. De maneira geral, os parâmetros considerados para essa modelagem, como resumido por Anzanello e Fogliatto (2011) em revisão da literatura de CA, estão relacionados à experiência prévia (medida pela quantidade de unidades produzidas até o momento), à presença de máquinas na operação e ao esquecimento/queda de performance em paradas de produção. A partir disso, as curvas geradas são avaliadas e discutidas, gerando uma série de hipóteses sobre os fatores que levaram à sua forma e aos seus pontos de inflexão.

Vários são os fatores que já foram avaliados por essa abordagem para correlacionar seu efeito na produtividade: a relação do aprendizado individual na produção (Uzumeri e Nembhard, 1998; Nembhard e Uzumeri, 2000; Reagans, Argote e Brooks, 2005), a transferência de conhecimento entre turnos e empresas (Epple, Argote e Devadas, 1991; Nembhard e Uzumeri, 2000;), a heterogeneidade dos grupos e o aprendizado em equipes (Shafer, Nembhard e Uzumeri, 2001; Reagans, Argote e Brooks, 2005) e a presença de trabalhadores temporários (Wiersma, 2007).

Os artigos que discutem o efeito do aprendizado individual serão discutidos para exemplificar como funciona essa abordagem nos estudos de CA. Em Nembhard e Uzumeri (1998) a hipótese que abre o artigo é de que a CA tradicional acaba escondendo oportunidades de ganho de produtividade por ser um modelo baseado na aprendizagem organizacional, o que acaba agregando o aprendizado de diferentes indivíduos em diferentes processos. Para trazer à tona essas oportunidades, os autores argumentam que é necessário um método de avaliação mais individualizada do trabalho.

Para essa discussão, Nembhard e Uzumeri (1998) focam em um estudo de caso feito em uma empresa americana, com dados sobre 3.874 episódios de performance individual. A performance diz respeito ao tempo de produção em atividades de repetição dentro da manufatura da empresa. De posse desses dados, os autores rodam diferentes modelos de CA, avaliam o resultado gráfico de cada modelo e concluem que o que melhor explica os resultados no caso é o hiperbólico de três parâmetros: taxa de aprendizado, experiência prévia de produção e taxa de produção quando estabilizada a curva. Importante esclarecer que esse método visto no caso, de escolher o modelo com base nos resultados de uma série de modelos, não é necessariamente uma constante para os artigos tradicionais em CA.

Com base nos resultados do modelo selecionado, Nembhard e Uzumeri (1998) analisam os resultados gerados, tentando criar *clusters* de trabalhadores (iniciantes ou antigos, por exemplo), separando-os de acordo com a similaridade entre os seus padrões de produtividade

com o tempo. Nesse caso, as conclusões apontadas pelos resultados foram que os operadores possuem dois padrões de aprendizado: (1) os que aprendem rápido uma tarefa e chegam a um determinado nível de produção e (2) os que aprendem uma tarefa mais devagar, mas que por sua vez chegam a um nível máximo de produção maior do que os de aprendizagem rápida. Adicionalmente, os autores também afirmam que os operadores que possuem experiência prévia na tarefa analisada, ou seja, que já tinham histórico de produção daquele produto, chegam a níveis máximos de produção superiores aos dos demais. São esses padrões derivados da análise do caso empírico que são levados como “boas práticas” para decisão de gestores nessa abordagem sobre aprendizado o na indústria. Questões contextuais como tipo de operação estudada, local dessa indústria, maturidade da empresa, perfil dos trabalhadores, entre outros, acabam sendo negligenciados, restando apenas a recomendação vaga de que, supostamente, operadores que aprendem “rápido” uma tarefa chegam a níveis de produção menores do que aqueles que aprendem a mesma tarefa “devagar”.

Em outro exemplo, Reagans, Argote e Brooks (2005) também avaliam o papel do aprendizado individual, mas dessa vez analisando se esse aprendizado se altera de acordo com a equipe. Para tanto os autores avaliam os dados do departamento ortopédico de um hospital escola americano, mais especificamente dados de cirurgias de substituição de articulações. Para avaliar os parâmetros mencionados, são elaboradas duas hipóteses: a (1) experiência individual reduz o tempo total do procedimento e a (2) experiência acumulada na instituição reduz o tempo total do procedimento. Para discutir as hipóteses, três variáveis são avaliadas para medir os resultados: a (1) experiência individual, representada pela quantidade de vezes que a pessoa integrou uma equipe dessa cirurgia, sendo o somatório dessas participações dividido pelo número médio de participantes para o procedimento, chegando, assim, a um valor de “contribuição” nas cirurgias.; a (2) experiência organizacional, dada pela quantidade de procedimentos similares feitos no hospital; e a (3) experiência da equipe, que avalia quantas vezes cada dupla da equipe participou junta desse tipo de procedimento.

A partir desses dados, Reagans, Argote e Brooks (2005) constroem um modelo matemático, cujo objetivo é exatamente tentar demonstrar a relação de cada experiência com os resultados de duração das cirurgias. Nesse aspecto, o método difere do artigo de Nembhard e Uzumeri (2000), pois é construído um modelo especificamente para o caso, e não testado uma série de modelos existentes para verificar qual melhor se adapta.

Os resultados obtidos a partir dessas lógicas são então comparados estatisticamente com o tempo total de procedimentos para entender se há alguma correlação dos dados. Todas essas

análises levam Reagans, Argote e Brooks (2005) a algumas conclusões que tentam explicar os resultados encontrados. Por exemplo, a primeira conclusão tirada é que, inicialmente, o aumento do aprendizado individual afeta negativamente o tempo do procedimento. Após cerca de cinco procedimentos essa lógica se inverte e o aprendizado individual começa a contribuir com a performance da equipe. Os autores atribuem a isso o fato de que no início os indivíduos não conhecem a equipe e tem dificuldade em transferir as mesmas técnicas antes praticadas com outras equipes para aquele novo time.

Da mesma maneira, a conclusão sobre o trabalho em equipe é que após certa experiência trabalhando juntos, os indivíduos acabam-se adaptando à forma de trabalho do novo grupo e contribuem, assim, para a redução do tempo de procedimento. Os autores também acenam para a relação dessa melhoria com o desenvolvimento de linguagens especiais e com a antecipação de ações permitidas por conhecer bem os outros membros. É interessante que, apesar de existirem dados quantitativos para análise, as explicações para os fenômenos vistos são baseadas em percepções que os autores têm sobre como ocorre o aprendizado no trabalho. Assim, o que aparenta, é que os resultados das análises servem de pano de fundo para inferências que os autores tiraram por terem estado em contato com a equipe do hospital, mas, pela abordagem tomada no artigo, esses contatos não são aprofundados.

Para finalizar, nessa mesma linha das inferências tiradas pelos autores, Reagans, Argote e Brooks (2005) fazem proposições para formação de equipes como, por exemplo, a construção de times com pelo menos três indivíduos, sendo dois deles com experiência individual e trabalhando juntos, e o terceiro inexperiente. Para eles essa estrutura permitiria ao terceiro indivíduo um espaço de aprendizado seguro, sem que isso afetasse negativamente a performance do grupo.

Uma outra vertente vista nesse segmento da literatura é a avaliação de modelos por meio de simulações e do *design* experimental de condições de trabalho. Esse método normalmente é utilizado para testar novos parâmetros que podem afetar o aprendizado, utilizando situações hipotéticas ou experimentais para realizar esses testes. Como exemplo, Jaber, Kher e Davis (2003) utilizam o modelo matemático de aprendizagem e esquecimento para testar qual efeito das políticas de treinamento e desenvolvimento no aprendizado ao se trocar de tarefas dentro de uma operação. Para tal, os autores utilizam uma situação hipotética de trabalho, estimando variáveis como a chamada de treinamento inicial, medida pela quantidade de unidades produzidas antes de se iniciar a operação. A conclusão do estudo é que a modelagem deveria considerar um parâmetro chamado de *fator de similaridade entre tarefas*, pois, dependendo de

quão parecida for a atividade anterior com a nova, o operador tenderá a um menor nível de esquecimento do trabalho que realizava.

Por último, o artigo de McNulty (2004), apesar de não discutir explicitamente o conceito de CA, apresenta uma abordagem muito similar a dos estudos tradicionais em CA. O objetivo desse artigo é recomendar algumas boas práticas para minimizar o tempo de *ramp-up* em plantas de beneficiamento mineral e pirometalurgia (por isso a sua relevância dentro do presente estudo de caso), a partir de um resumo de outros estudos que tiveram esse mesmo propósito.

Para tal, o autor traz uma série de estudos que avaliaram o desenvolvimento industrial nesse segmento, mostrando as conclusões tiradas por esses estudos e encaminhando para um quadro teórico, onde algumas similaridades são apontadas entre diferentes plantas. Essas similaridades são correlacionadas a gráficos similares às CA, onde cada “série” representa um padrão desenvolvido com o tempo para o atingimento da taxa de produção. A Figura 1 mostra essas curvas geradas. Como exemplo, para McNulty (2004), a série 1 seria uma empresa em que os donos se apoiaram em tecnologias maduras, com equipamentos padrão de mercado e que pilotos foram feitos para avaliar o risco da operação. Do outro lado, a série 4 representa uma empresa que rodou testes apenas para avaliar o produto, e não os riscos associados, cujo conhecimento em mineralogia era escasso, com pouca atenção dada a questões de qualidade do produto e com sérios problemas de projeto. Apesar de academicamente questionável, a importância de citar esse último artigo é que esse é um quadro teórico utilizado por engenheiros que tiveram contato com a pesquisa realizada no estudo de caso. Esse é um exemplo de utilização na prática de modelos similares às CA, em que a curva serve de guia para os gestores avaliarem o quão bem estava sendo desenvolvido o seu projeto.

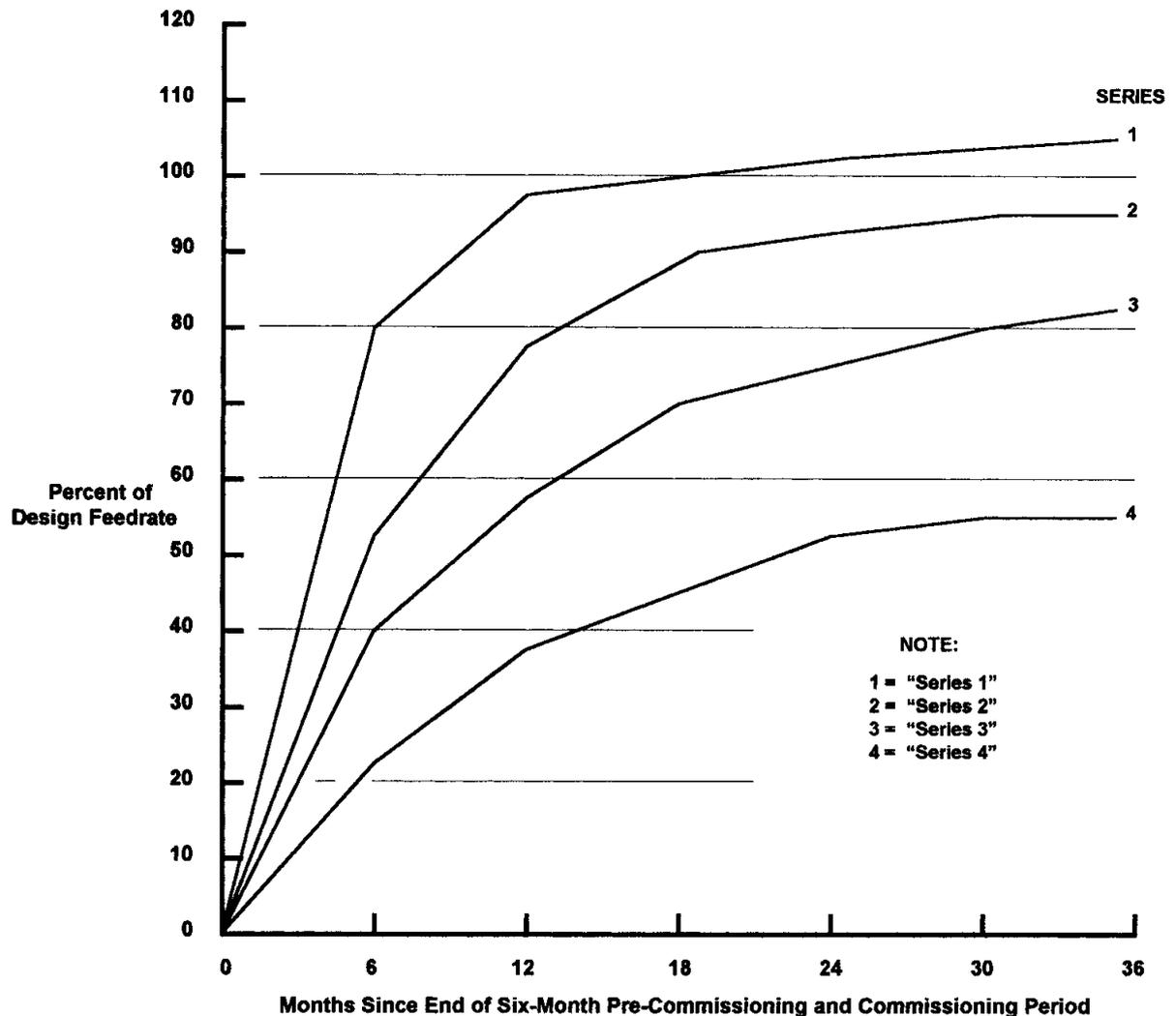


Figura 1: curvas de produção projetada versus tempo de desenvolvimento. McNulty (2004)

2.2 Estudo críticos em CA: o processo de aprendizagem no centro da pesquisa

Com o passar do tempo, críticas ao modelo tradicional de avaliação do resultado do aprendizado na indústria começaram a surgir. A principal argumentação é que os processos que levam ao aprendizado, ou seja, o *como* as pessoas aprendem, estavam sendo pouco ou nada discutidos pelas pesquisas em CA. As chamadas curvas do aprendizado eram, nesse sentido, curvas de produção ou produtividade, ou seja, a consequência da aprendizagem. Assim, novos estudos começaram a surgir colocando o processo de aprendizagem no centro das discussões, e mostrando que várias são as possíveis fontes de aprendizado em um ambiente industrial. As características que unem esses estudos são: (1) presença de modelos teóricos sobre o processo de aprendizagem, unindo aspectos qualitativos a possíveis análises matemáticas quantitativas, (2) diversificação das fontes de aprendizado, aliando a aprendizagem na prática com o tempo outros fatores como treinamentos, modificações de engenharia, experimentações e interfaces

na empresa, e (3) análises mais desagregadas, avaliando ciclos mais curtos e situações mais específicas dentro do contexto da produção, tentando capturar em contexto micro o aprendizado.

Em um dos primeiros estudos dessa categoria, Adler e Clark (1991) exploraram dados de produção de uma indústria de equipamentos eletrônicos, em conjunto com aproximadamente cem entrevistas feitas com pessoas da empresa. Eles criticam as CA comentando que a sua literatura, apesar de abundante, é focada na ideia de uma conexão entre experiência e produtividade sem explicar o complexo processo que leva a essa correlação. Os autores citam diversos modelos matemáticos utilizados na literatura, mostrando os limites dos estudos para explicar o processo de aprendizagem. O objetivo do artigo é incorporar dois tipos de aprendizagem na explicação da CA: os aprendizados comportamentais e tácitos¹, que, segundo eles, são aqueles que a curva tradicional captura implícitos aos dados, e os aprendizados formais e explícitos.

O modelo desenvolvido para dialogar com essas proposições foca em duas atividades que podem gerar aprendizagem: as mudanças de engenharia e os treinamentos. Na modelagem dos fatores, são considerados como mudanças de engenharia as horas de trabalho de pessoal especializado em estudar mudanças de *design* do produto, realizar experimentos e aprender novas especificações de materiais. Nos treinamentos são consideradas as horas gastas em treinamento *on-the-job*. A relação dos fatores com os resultados vistos fez com que os autores propusessem um modelo teórico do processo de aprendizagem (figura 2), cuja principal contribuição foi o entendimento de que as variáveis de mudanças de engenharia e treinamento podem tanto facilitar o aprendizado na produção, quanto gerar disrupções no processo.

¹ Esse aprendizado é chamado no artigo de *first-order learning* e é entendido como um aprendizado autônomo e baseado simplesmente no *learning-by-doing*. Quando os autores se propõem a dividir o aprendizado em tácito e explícito/formal, entende-se que esse é o dito aprendizado tácito e os treinamentos e mudanças de engenharia seriam os “formais”, ou *second-order learning*.

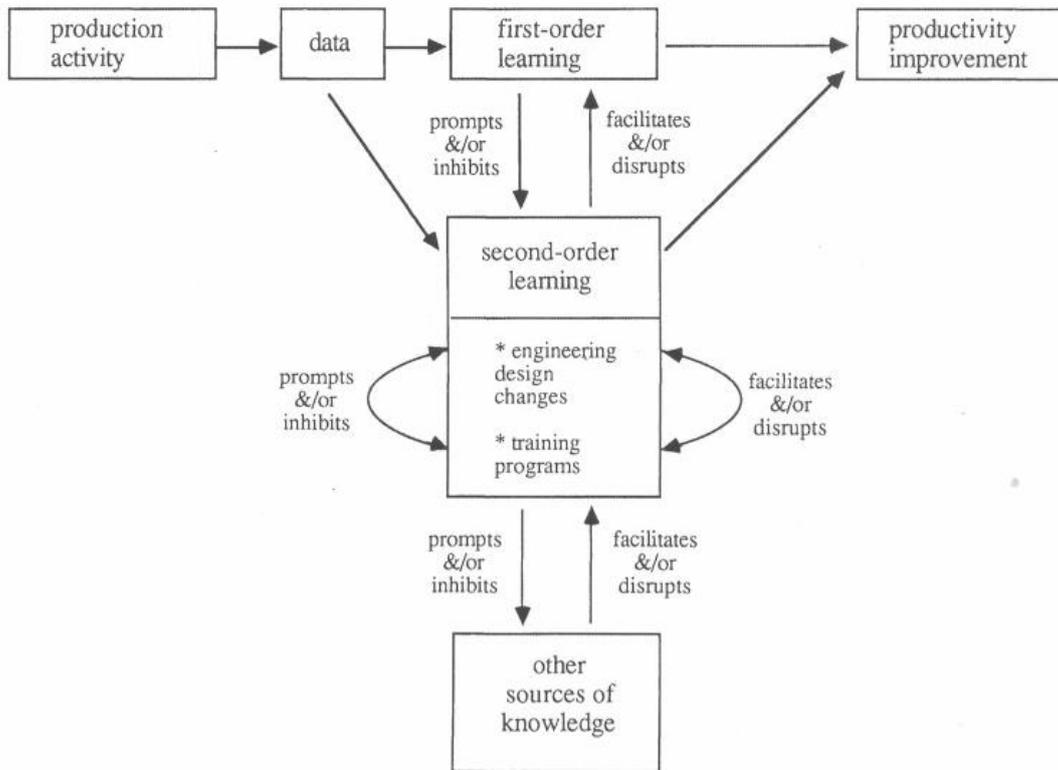


Figura 2 - modelo revisado de aprendizagem proposto em Adler e Clark (1991)

Zangwill e Kantor (2000) endossam a crítica às CA tradicionais, afirmando que elas deveriam ser chamadas de curvas de previsão (*forecasting curve*) em vez de curvas de aprendizado. O argumento é exatamente de que, por serem avaliações feitas depois de o fato ter acontecido, pouco pode ser feito para contribuir com o aprendizado e para entender o que determinou os resultados de tempo e produtividade encontrados. Os autores reconhecem o valor das curvas no sentido de previsão de produção, mas deixam claro que essas curvas são “notadamente mudas no que diz respeito ao ‘como’ as melhorias e o aprendizado acontecem” (p.1). Para os autores, uma curva que realmente ajuda no aprendizado deveria dar ferramentas de ação para que os gestores pudessem alterar o curso ‘normal’ previsto pela curva de previsão. O objetivo do artigo, assim, é discutir e fornecer um *framework* conceitual para avaliação de CA.

A ferramenta proposta por Zangwill e Kantor (2000) é um modelo matemático que considera períodos menores de aprendizado, dando uma abordagem micro aos fatores que podem levar a mudanças na produtividade. Esse período é chamado de *ciclo de aprendizado* ou *experimento de aprendizado*, e deve ser avaliado caso a caso pelo modelo proposto, para avaliar se a mudança feita na operação teve um efeito positivo ou negativo. Isso significa que as ações

tomadas em uma visão micro do processo (e.g. uma mudança pontual em um processo) deveriam ter os resultados analisados e com isso ter seu efeito no todo validado (ou não). O conjunto de ciclos de aprendizado daria uma visão geral aos gestores sobre o que funciona e o que não funciona na melhoria contínua dos processos. Com base nessa ideia, os autores propõem uma equação diferencial, que permite a avaliação do efeito de cada mudança feita em um ciclo de aprendizado. Isso evitaria também a falsa noção de que todas as ações de melhoria realmente afetam positivamente a produção, pois seria possível distinguir por cada ciclo aquelas que foram bem ou malsucedidas.

Na mesma linha de argumentação sobre as CA tradicionais, Linton e Walsh (2013) afirmam que a curva tradicional, com suas métricas agregadas, “mascaram seus complexos processos subjacentes” (p.10). Similar à ideia de ciclo de aprendizado, os autores trazem a noção de *pulo entre curvas durante a aprendizagem*, ou seja, uma vez que o aprendizado em certa atividade chega perto das barreiras de produtividade, inovações incrementais fazem que uma nova curva emerja. Por exemplo, quando uma equipe de operadores insere um novo artefato no processo, eles modificam o estágio de aprendizado na atividade, pulando para uma nova curva. Esse efeito tem muita relação com as disrupções de produtividade citadas por Adler e Clark (1991). Esses conceitos são incorporados a um quadro teórico proposto, que visa a integrar diferentes áreas como *supply chain*, *design*, P&D, entre outras, no entendimento de que os aprendizados em cada área podem afetar a curva geral de produtividade e que perguntas sobre as barreiras de aprendizado devem ser endereçadas a cada etapa e departamento de maneira particular.

Especificamente sobre a fase de *ramp-up*, Terwiesch e Bohn (2001) desenvolveram um modelo analítico para discutir os *trade-offs* presentes nessa etapa da produção. A discussão que o artigo traz diz respeito às características específicas desse período no qual, para os autores, a empresa possui pouco conhecimento prático sobre os processos e precisa tomar decisões para encurtar o tempo até a estabilização da produção. Os autores estabelecem três variáveis importantes que influenciam a produtividade e que fazem com que cada decisão seja um *trade-off* econômico: (1) o papel das experimentações no trabalho, que reduzem a produtividade em curto prazo, mas que podem acelerar o aprendizado, (2) os rendimentos baseados na qualidade dos produtos fabricados, uma vez que não faz sentido acelerar a produção se isso levar a maior descarte/retrabalho, e (3) o alto valor de mercado de produtos ainda com a oferta reduzida e em fase de lançamento (essa variável se aplica mais especificamente aos produtos de alta tecnologia discutidos no artigo). Todos esses fatores geram complexidade ao processo de decisão em um

ramp-up, sendo o objetivo do artigo analisar como essas variáveis se comportam no estudo de caso.

Para Terwiesch e Bohn (2001), o modelo tradicional de CA assume que a produção evolui naturalmente com a prática, o que acaba por esconder/minimizar os impactos das decisões gerenciais nesse processo. Para trazer elementos a essa discussão, os autores modelam as variáveis de decisão citadas em um estudo de caso de *ramp-up*. O objetivo final é fornecer dados para que as decisões sejam baseadas nas estimativas financeiras geradas. Assim, o modelo matemático desenvolvido traz cenários de otimização, considerando rendimentos, valor de mercado e aprendizados gerados em paradas para experimentação, criando um modelo que busca equilibrar todas essas variáveis que influenciam o sucesso de um *ramp-up* industrial.

Em sua conclusão, Terwiesch e Bohn (2001) citam algumas implicações dadas pelos resultados matemáticos obtidos. Primeiro eles recomendam que os gestores aceitem que decisões de parada de produção para experimentação e desaceleração por problemas de qualidade são paradoxos a serem enfrentados em um *ramp-up*. Em segundo lugar, eles citam a importância de se ampliar e entender as diversas fontes de aprendizado dentro do trabalho. Nesse caso, os autores citam três: o aprendizado que vem da prática, o aprendizado vindo de experimentos e o aprendizado gerado pelos estudos dos engenheiros. Tendo conhecimento dessas variáveis, os gestores poderiam tomar decisões que acelerariam o aprendizado, considerando o *trade-off* intrínseco a cada decisão (e.g. parar a produção e não produzir durante um período para realizar experimentos na linha). Por se propor especificamente à discussão de *ramp-up* de produção, o artigo traz sugestões direcionadas ao público de gestores que passam por essa fase.

2.3 A discussão fora da CA: o aprendizado na visão dos estudos sociais da tecnologia e expertise e da organização do trabalho

Além dos artigos que discutem especificamente as CA, outras literaturas também têm como tema o aprendizado e a expertise na indústria, e merecem ser adicionadas à discussão do estudo de caso. No contexto da discussão sobre o papel da experiência no aprendizado, Ribeiro (2013) propõe uma gestão baseada nos conhecimentos tácitos. O conhecimento tácito é aquele ligado diretamente a vivência prática do indivíduo, em que as ações, incorporadas ao trabalhador, não conseguem ser replicadas para padrões técnicos ou máquinas. Dentre os conceitos apresentados no seu artigo está o de *níveis de similaridade*, que busca resolver um dos problemas aqui postulados, que é o de estimar o nível de experiência prévia de cada indivíduo em uma atividade específica. O que se propõe é que, ao avaliar um processo produtivo, principalmente aqueles

que estão no início do desenvolvimento (*ramp-up*), é importante qualificar as experiências passadas dos trabalhadores, considerando a similaridade com a nova função a ser desenvolvida. No caso do artigo, foram empregados os termos *alta*, *média* e *baixa* similaridade para avaliação das experiências dos trabalhadores, visando entender o mix de pessoas que estavam sendo alocadas em cada coletivo de trabalho, ou seja, se existiam pessoas com vivências práticas em contextos similares em cada departamento.

Essas pessoas com experiência com alta similaridade são aquelas consideradas especialistas naquela função técnica. Como mencionado em Ribeiro (2013), esses trabalhadores são capazes de antecipar problemas e utilizar técnicas já desenvolvidas, o que tende a acelerar o tempo para se conseguir certa produtividade na nova operação. Quando pensamos em contextos de *ramp-up*, em que pouca experiência foi gerada na própria planta industrial, essa qualificação da experiência acaba sendo verificada com base nos trabalhos realizados anteriormente por cada novo funcionário, portanto a seleção das pessoas se torna um processo crítico nesse contexto. Como exemplo do artigo, a definição de similaridade para um operador de escavadeira hidráulica que trabalharia em um mina de níquel foi definida da seguinte forma: baixa similaridade para um operador com experiência em escavadeira hidráulica pequena, média similaridade para operadores com no mínimo 3 anos de experiência em escavadeira hidráulica em minas de céu aberto e alta similaridade para operadores com no mínimo 5 anos de experiência em escavadeira hidráulica em minas de céu aberto de níquel laterítico.

Outra definição interessante sobre capacidade de aquisição de uma habilidade é vista no artigo de Pinch, Collins e Carbone (1996). A principal discussão desse estudo é entender uma medida importante para a aquisição de uma habilidade: o quão difícil é aprendê-la. Para tal, os autores pesquisam cirurgias em um hospital escola de veterinária, entendendo com médicos veterinários de diferentes níveis de senioridade na função, como eles avaliam, entre outros parâmetros, uma cirurgia difícil, ou qual é o limite de tentativas que se deve realizar para um certo procedimento antes de se chegar à conclusão que aquele talvez não seja o método mais adequado para resolver uma enfermidade.

De maneira resumida, Pinch, Collins e Carbone (1996) resumem, então, que “aprender quão difícil algo é ou o quão fortemente devemos tentar é uma das partes para se tornar uma pessoa habilidosa nessa função” (p.1). Como uma analogia interessante sobre esse assunto, os autores citam que se alguém acreditasse que seria possível aprender a andar de bicicleta em um minuto, depois desse minuto de tentativa essa pessoa se julgaria incompetente para andar de bicicleta. Da mesma maneira, se essa pessoa acreditasse que andar de bicicleta seria tão difícil quanto

aprender a tocar piano, provavelmente essa pessoa nem tentaria aprender a andar de bicicleta no primeiro momento.

Assim, a conclusão desse estudo é que um passo importante para se aprender uma função é ter uma *medida de dificuldade para aquisição dessa habilidade*. Saber que algo vai levar um tempo determinado para se aperfeiçoar condiciona os esforços dentro daquela função técnica, e permitem que as pessoas envolvidas desprendam esse tempo para adquirir essa habilidade. Da mesma maneira, saber que algo é possível de ser feito também é um conhecimento importante quando do início do processo de aprendizagem em certa função.

Seguindo essa linha de pensamento, Collins (2001) discute a transferência de conhecimento entre cientistas, oferecendo uma nova classificação para o conhecimento tácito. Entre as análises do artigo, uma em particular serve de apoio para essa revisão de literatura: o papel de visitas para troca de experiências para desenvolvimento de certa área de pesquisa. O que o autor comenta é que em lugares que a transferência de conhecimento tácito é um problema, uma alternativa que pode ser útil é o intercâmbio de visitas, onde o cientista (b), que não consegue fazer um aparato funcionar, normalmente consegue sucesso na empreitada ao visitar outro cientista (a) e passar certo tempo *in loco* em seu laboratório acompanhando o desempenho de alguma atividade. Apesar de útil, uma das possíveis barreiras é que existem uma série de variáveis que o cientista (a) não acha importante ou não se dá conta de que são importantes para o desempenho da função e que o cientista (b), por sua falta de experiência, também não sabe as perguntas certas a se fazer naquele contexto. Esses componentes relacionados a intercâmbios para visitas técnicas serão explorados no estudo de caso.

A avaliação das pessoas que compõem um certo processo técnico é também papel dos estudos em organização industrial. Além de saber quem são as pessoas dentro do processo, também é importante saber como elas dividem as tarefas de produção, e como se relacionam com as máquinas e ferramentas na operação. Portanto, ao falar de organização, estamos nos referindo a um local onde estão trabalhadores, instrumentos, maquinários e materiais. A característica desse meio sociotécnico é exatamente a convivência desses dois subsistemas: o subsistema técnico – com suas máquinas, instrumentos e equipamentos – e o subsistema social – com os indivíduos e grupos (Biazzi Jr, 1994).

Para Leonard-Barton (1988) o *ramp-up* de uma oficina ou indústria está exatamente na adaptação mútua desses subsistemas. Essa adaptação é necessária porque uma tecnologia nunca se encaixa perfeitamente ao contexto específico de uma produção, e os operadores estão

trabalhando em um novo contexto de equipe e tecnologia. O processo de adaptação apresenta desalinhamentos entre os subsistemas, os quais, em última instância, impedem ou desaceleram a produção. Esses desalinhamentos vão sendo resolvidos pela alteração das tecnologias e instrumentos, e também pelos aprendizados de habilidades e métodos por parte dos trabalhadores. Cada processo desse tipo é chamado de ‘ciclo de adaptação’, e, à medida que esses ciclos vão acontecendo, o processo vai se estabilizando. Esses conceitos também estão intimamente ligados aos ‘ciclos de aprendizado’ em Zangwill e Kantor (2000), e ajudam no entendimento de processos vistos na prática das atividades.

A ideia do aprendizado em ciclos é interessante também para abordar uma fase da produção pouco discutida nas CA. Quando se fala de aprendizado na indústria, normalmente os estudos vão até o momento em que a produção atinge o nível esperado no início do processo, falando pouco do que acontece a partir dessa etapa. A produção continua acontecendo, e é esperado que existam os ciclos de aprendizado também nessa suposta “estabilização” do processo. No estudo de caso que será discutido, esses aprendizados são vistos na forma de criação de novas ferramentas e equipamentos. Rosenberg (1983) já discutia a inovação como um subproduto da atividade produtiva, fonte essa pouco ou nada reconhecida pelas áreas que, em tese, eram responsáveis por trazer novas tecnologias (especialmente a engenharia e o P&D). Esse pensamento traz um debate importante ao estudo de caso, pois reconhecer as melhorias e inovações como produtos do aprendizado também amplia as discussões do aprendizado na indústria.

Todos os artigos e conceitos apresentados até aqui terão importância para entender e retirar do estudo de caso novas visões sobre o aprendizado na indústria. Tendo feito a contextualização dentro da literatura, é possível contextualizar, agora, a pesquisa realizada e iniciar a história do *ramp-up* da oficina de virolas.

2.4 Discussão da literatura: resumindo e caminhando para o estudo de caso

É importante, para o seguimento até o estudo de caso, chamar a atenção do leitor para alguns aspectos da literatura que serão importantes na discussão do caso. Para os estudos tradicionais em CA, o que foi visto é essas pesquisas auxiliam na construção de estimativas mais acuradas sobre o nível de produtividade que será atingido, ou o tempo necessário para que isso ocorra. O que é passível de discussão, e que parece ser o principal *gap* desses estudos, é se os fatores apontados como responsáveis pelas formas vistas nas CA têm realmente relação causal com o

aprendizado. Por serem todos feitos *a posteriori*, a literatura tradicional de CA não esclarece o que influencia as decisões tomadas pelos envolvidos durante as fases em que o aprendizado está ocorrendo, e como isso afetou a produtividade e os tempos de produção vistos nos dados quantitativos. Assim, apesar de apresentarem alguma relação com o caso empírico em si, as causas e práticas apontadas nesses artigos pouco contribuem na construção de fluxos sobre o processo de aprendizagem ou no real entendimento de *como* as pessoas aprendem no trabalho.

Nos estudos críticos em CA, os quatro estudos discutidos buscam entender o que é feito durante as operações que alteram os resultados gerais de produtividade vistos nas CA. A principal diferença entre essas abordagens e os estudos tradicionais em CA é a mudança de foco para um modelo geral sobre as fontes do aprendizado, que busca entender o processo que as pessoas passam na aprendizagem em ambiente de trabalho. A partir dessa mudança de foco, os pesquisadores percebem que as fontes de aprendizado na indústria são diversas e podem discutir, por meio de ferramentas mais ou menos quantitativas/qualitativas, as influências desses fatores nos resultados da produção.

Ainda assim, algumas lacunas permanecem não preenchidas por esses estudos. Os artigos que criticam as CA falam sobre o processo de aprendizagem, citando as diferentes fontes de aprendizado e tentando analisar ciclos mais curtos dentro da produção. Essas discussões, apesar de importantes, dizem muito sobre o *locus* do aprendizado, mas não necessariamente sobre o *como* as pessoas aprendem no trabalho, que era um dos objetivos iniciais dos artigos. Outro lugar não preenchido por essas literaturas é um estudo feito durante o processo de aprendizagem, em que a análise não é feita posteriormente aos fatos que podem gerar mudanças na produtividade. É visando a preencher esse lugar ainda não explorado que a presente pesquisa apresenta um estudo feito durante o *ramp-up* de uma oficina, entendendo *in loco* os fatores de aprendizado e buscando colaborar com os estudos críticos em CA.

Por fim, os estudos fora das CA trarão importantes *insights* para entender o processo de aprendizagem visto no estudo de caso. O estudo de Ribeiro (2013) e sua definição de *níveis de similaridade* ajudam a entender o 1º momento do caso, em que os envolvidos, inclusive a empresa terceirizada, tinham experiências de baixa (ou no máximo média) similaridade com a nova oficina que estava sendo construída. Já os artigos de Pinch, Collins e Carbone (1996) e Collins (2001) situam, entre o 1º e o 2º momento do estudo de caso, a importância das visitas técnicas realizadas e também seus limites de contribuição. Por fim, é importante destacar o estudo de Rosenberg (1983) no entendimento de que o aprendizado pode levar a lugares além da própria produtividade, como a inovação e criação de produtos a partir da prática. Quantificar

as melhorias e inovações incrementais na operação pode ser outra maneira de avaliar o aprendizado, distinta da lógica de produtividade das CA. Dito tudo isso, o primeiro passo para introduzir o estudo de caso é contar um pouco mais sobre o contexto da presente pesquisa.

Capítulo 3. Contexto de pesquisa

Para entender o estudo de caso e a sua relação com a literatura proposta, é importante conhecer antes como esta pesquisa se encaixa em um projeto mais amplo. A presente pesquisa foi parte de um projeto mais extenso que buscou estudar vários aspectos da referida planta de níquel, desde o projeto até o *ramp-up*. Esse projeto mais amplo durou cerca de oito anos, período em que diferentes pesquisadores tiveram acesso ao campo e coletaram dados que, se não utilizados em suas próprias pesquisas, foram passados sistematicamente aos novos pesquisadores².

3.1 Metodologia e Estudo de Campo

Dentro desse contexto de pesquisa, o caso da virola buscou captar a história de cinco anos de sua produção, de 2010 até 2015. No primeiro período, o assunto chegou até os pesquisadores que trabalhavam na época como sendo relevante por problemas de qualidade que estavam ocorrendo com a peça e pelas dificuldades dos envolvidos em fabricar nos parâmetros de especificação exigidos. Isso fez com que uma série de dados fossem coletados durante quase dois anos, incluindo entrevistas, vídeos, desenhos técnicos e dados quantitativos³.

Posteriormente, o autor dessa dissertação voltou a campo para realizar a confrontação desses dados com o que estava acontecendo na oficina, contrastando alguns dados e imagens da produção antiga e tentando entender o que mudou para construir a história. Essa volta ocorreu no ano de 2015 e durou quase todo o ano, com pesquisas de campo mensais. Esse contato permitiu identificar pessoas que acompanharam o processo completo de evolução da oficina e que ajudaram na construção da narrativa que será apresentada, além de acompanhar *in loco* o desenvolvimento de novas ferramentas e pequenas inovações incrementais no chão de fábrica. Essas inovações serão posteriormente discutidas dentro do estudo de caso.

A metodologia utilizada para o trabalho foi a Grounded Theory (GT) (Tarozzi, 2011), que adota uma apresenta a metodologia de pesquisa e de teoria fundamentada nos dados, utilizada em pesquisas qualitativas, principalmente nas ciências humanas e sociais. O ponto central da metodologia é fazer emergir dos dados uma teoria baseada neles, processo esse que acontece sistematicamente à medida em que o pesquisador vai fazendo visitas ao campo. Como o autor

² Projeto coordenado pelos professores Rodrigo Ribeiro e Francisco Lima.

³ Agradeço ao pesquisador Paulo Marques por ter gentilmente passado os dados coletados na oficina de virolas nesse primeiro momento. Sem dúvidas tanto as notas escritas à época quanto os registros de entrevistas e da produção foram essenciais para a possibilidade de reconstrução da história.

ressalta, essa metodologia depende da vivência empírica do pesquisador, sendo vital que sua presença consiga capturar os comportamentos dos atores envolvidos, de maneira a não interferir diretamente nos dados coletados. Isso faz com que o método tenha um alto valor prático-operativo.

Essas primeiras indicações do caminho a ser seguido pela GT foram de grande valor para o trabalho em campo. Foi necessário que, iniciando uma pesquisa com essa metodologia, o acesso ao campo fosse o mais amplo possível, para que o pesquisador estivesse envolvido diretamente com a prática de trabalho. No caso específico do estudo de caso das virolas, isso foi possível graças ao projeto em cooperação com a empresa, que permitiu um acesso irrestrito à planta industrial e uma experiência próxima à prática dos operadores. A primeira premissa do método pôde, assim, ser alcançada, o que tornou viável sua utilização.

Outro aspecto importante abordado do método é a importância de se fazer simultaneamente a coleta dos dados e a sua análise. Diferentemente de outros métodos de pesquisa qualitativa, isso significa que as análises vão sendo feitas enquanto se está em campo recolhendo dados e não *a posteriori*. Isso pode tornar o trabalho mais lento, como foi no caso das virolas, pois a cada vez que se retorna e analisa os dados, novas demandas surgem, fazendo com que o número de visitas a campo seja maior do que o planejado. É isso, porém, que assegura que a teoria gerada seja um reflexo mais próximo da prática dos atores analisados, pois a necessidade de aprofundamento na pesquisa vai aparecendo na medida em que o pesquisador se insere mais nessa prática.

Nessas análises destaca-se a importância de se escrever memorandos sobre o objeto analisado. Como posto por Tarozzi (2011), a escrita de memorandos não é apenas aconselhável, mas sim um imperativo desse método. É por eles que o caráter comparativo do método aparece, pois à medida que novos dados vão aparecendo, inicia-se um processo de comparação com aquilo pensado anteriormente. Igualmente importante é a transcrição das entrevistas feitas em campo. Muitas vezes, enquanto a entrevista está sendo feita, pontos importantes de análise passam despercebidos, o que torna a transcrição não só um processo de passar a limpo o que foi feito, mas também uma nova percepção das verbalizações feitas pelas pessoas entrevistadas.

Novamente, esses aspectos foram ficando claros à medida que a pesquisa foi sendo feita. Olhando anotações antigas sobre a construção da oficina de virola, fica nítida a mudança tanto de foco quanto de análise sobre o estudo. Os pontos de vista de supervisores, gerentes e operadores tenderam a ser divergentes, e cada relatório acabou seguindo a visão daquelas

pessoas entrevistadas. Foi necessário, assim, uma análise crítica sobre os dados coletados, facilitada pelos registros históricos da pesquisa.

Ressalta-se sobre o método que as teorias advindas de uma GT têm de “funcionar”. Isso significa que nessa metodologia é importante que as teorias geradas tenham relevância prática na modificação do objeto estudado, ou seja, que a teoria possa se tornar um guia para uma decisão mais aderente a prática dos atores.

Com relação aos pressupostos epistemológicos, o mais importante nesse momento é destacar o papel do referencial teórico nessa metodologia. Por ser essencialmente baseada no estudo empírico, a GT requer, em um primeiro momento, que o pesquisador se distancie de sua “bagagem” teórico-literária, para que não seja feito um pré-julgamento dos dados coletados. Como o próprio Tarozzi (2011) admite, esse afastamento é um processo difícil, que exige um auto monitoramento constante do pesquisador. As referências bibliográficas são importantes em um segundo momento, após o esgotamento dos dados empíricos, e servem como uma nova análise daquilo feito até então, para um refinamento do estudo.

No caso das violas, isso foi tentado ao máximo, exigindo uma reeducação do pesquisador para tentar eliminar rastros de análises prévias dos dados coletados, passando o foco sempre para a construção dos fatos na visão dos entrevistados. O segundo momento sim exigiu a leitura de literaturas pertinentes ao assunto, iniciando, assim, a segunda análise dos dados. Foi nesse momento que a literatura de CA foi introduzida, por entender-se sua relação com os dados coletados.

Para entender a narrativa, é necessário considerar também algumas barreiras encontradas para a análise, quem foram os envolvidos na história da oficina e o papel de cada um deles que serão citados durante o texto.

3.2. Limites de pesquisa e papel dos envolvidos na narrativa

Apesar de todo o trabalho desenvolvido em campo, algumas informações não foram recolhidas e estabelecem alguns limites para a pesquisa. Dois exemplos são: as especificações técnicas originais da compra dos equipamentos para a produção das violas e dados quantitativos de produção anteriores a 2014. A falta das especificações técnicas originais impossibilitou um aprofundamento maior sobre o papel da área de suprimentos da empresa. Esse é um assunto que apareceu durante a pesquisa e que poderia ser abordado em estudos futuros.

A falta de dados quantitativos anteriores a 2014 dificultou análises quantitativas mais aprofundadas no caso. A possibilidade de se estimar as taxas de produção veio das verbalizações dos operadores da época, que iam se referindo ao estágio de produtividade em cada período. Essa saída se mostrou eficiente para as discussões propostas, mas também representa uma barreira para estudos com teor mais quantitativo.

A confidencialidade faz parte do acordo feito com a empresa pesquisada. Por isso, os nomes reais serão substituídos, seja o dos trabalhadores entrevistados ou o das empresas citadas. O quadro abaixo ajuda na leitura da narrativa:

Tabela 1 - quadro de nomes fictícios para as empresas e pessoas envolvidas no trabalho

Empresas Citadas	
Nome/Sigla	Descrição
Empresa Pesquisada (EP)	Empresa onde foi realizada toda a pesquisa
Empresa Contratada (EC)	Empresa contratada para a terceirização da fabricação de virolas
Empresa Experiente (EE)	Empresa concorrente da EP, que fabrica virolas há quase trinta anos
Pessoas Citadas	
Nome Utilizado	Descrição
Consultor	Consultor contratado para auxiliar na construção da oficina. Por ter experiência de quase vinte anos em uma operação de alta similaridade, foi fundamental em todo o processo de desenvolvimento.
Operadores da EP (todos serão identificados por nomes com P)	
Pedro	Caldeireiro contratado para a função de calandragem que permaneceu na função de 2010 até o final da pesquisa. É o maior responsável pela ideação das inovações incrementais vistas e ajudou especialmente na reconstrução da história.
Paulo	Primeiro caldeireiro contratado pela EP para ficar na função de calandragem.
Pablo	Primeiro soldador contratado pela EP.
Plínio	Caldeireiro contratado pela EP para a função de montagem.
Pérsio	Funcionário da empresa desde o início do projeto, foi promovido a líder de equipe na oficina depois das mudanças organizacionais.
Staff gerencial da EP (todos serão identificados por nomes com J)	
João	Gerente de manutenção responsável pela oficina de virolas. Foi o responsável pela compra dos equipamentos da oficina.
Junior	Primeiro supervisor da oficina de virolas. Além da área de virolas, era responsável também por outras funções de manutenção mecânica e elétrica do forno.
José	Supervisor alocado na oficina de virolas após a volta do funcionamento dos fornos após acidente. Recebeu a área já com quadro reduzido de pessoal, e ficou responsável apenas pelas oficinas de caldeiraria da EP (virolas e veículos).
Operadores da EC (todos serão identificados por nomes com C)	
Carlos	Soldador da EC
César	Soldador da EC
Celso	Caldeireiro da EC

Dado as suas especificidades e para facilitar a leitura, a história da oficina de virolas foi dividida em três momentos. São eles: (1) a terceirização inicial da produção e o contato com a área dos primeiros contratados; (2) a montagem da oficina com a compra de equipamentos e (3) a estabilização da produção e as inovações incrementais realizadas. Inicialmente serão explicadas

um pouco melhor as características da peça fabricada e sua importância para o processo do níquel, para facilitar o entendimento da história.

Capítulo 4. O estudo de caso

Como já mencionado, o presente estudo de caso foi conduzido em uma planta industrial de ferro níquel, situada em uma área remota na região amazônica do norte do Brasil. O processo de fabricação do ferro-níquel utilizado na Empresa Pesquisada (EP) é a pirometalurgia. Esse processo contínuo de produção exige a utilização de fornos elétricos que fazem a redução do minério de ferro-níquel já transformado em calcinado (matéria-prima advinda de minas que também fazem parte do complexo produtivo). O níquel, com densidade maior que os outros elementos da liga do minério, acaba ficando na região inferior do forno, por onde ele é retirado e levado para a área de refino antes de estar pronto para comercialização.

4.1 O processo pirometalúrgico e o papel do eletrodo nesse processo

Para aquecer esses fornos são utilizados seis eletrodos energizados, que, dois a dois, criam arcos voltaicos e geram a energia necessária para a redução do calcinado. A figura 4 abaixo ajuda no entendimento dessa operação.

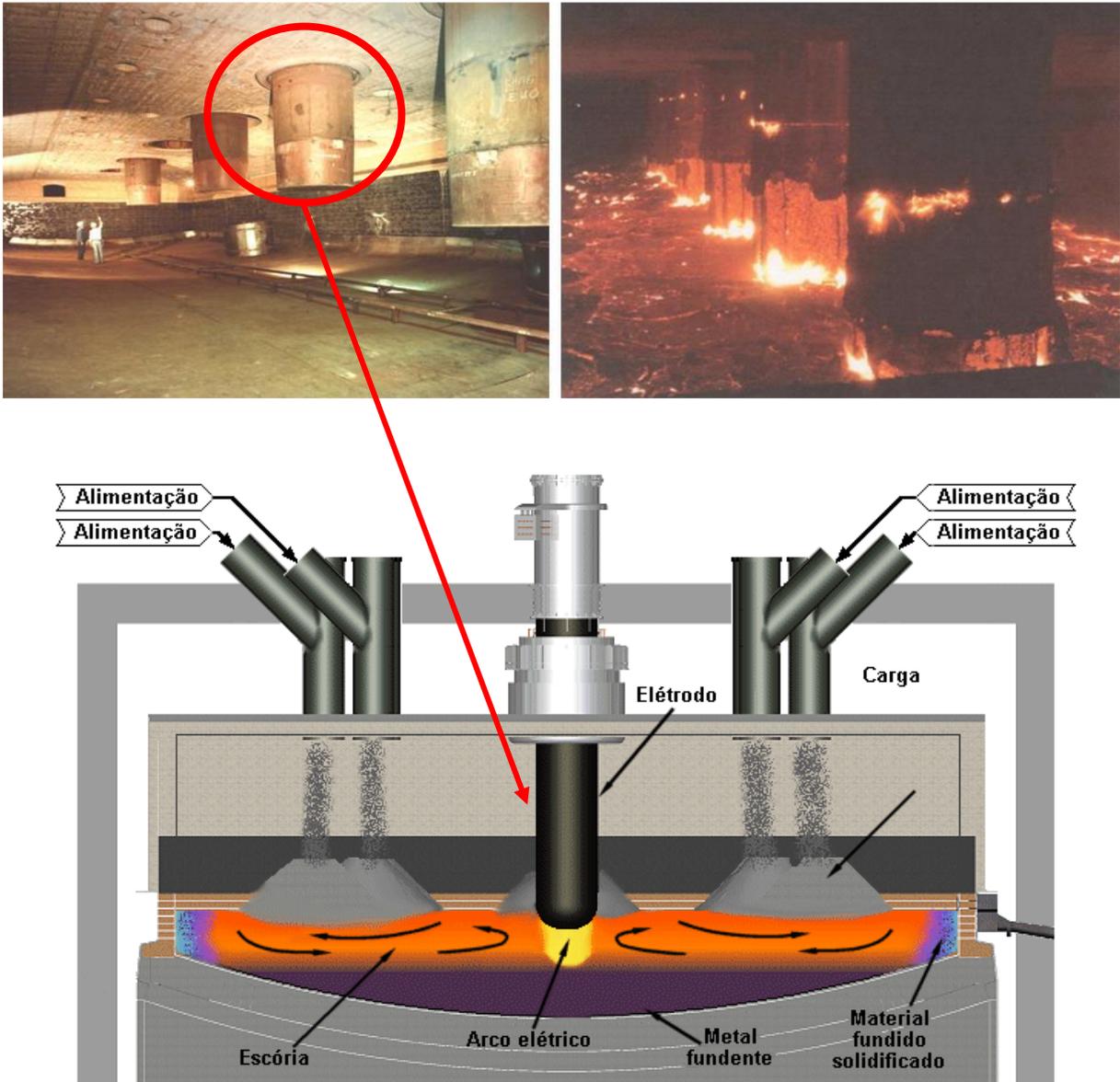


Figura 3 - visão interna do forno de redução. Nas fotos de cima, à esquerda, o forno está vazio, e as estruturas tubulares no topo são os eletrodos. Já a foto à direita o forno está carregado, com os eletrodos submersos. Abaixo um esquema de operação desse forno. Fonte: materiais disponibilizados pela EP.

Os eletrodos são compostos por dois elementos principais: um tubo metálico (virola) e a pasta de carbono (Soderberg), que é inserida no seu interior. Os tubos metálicos, chamados de virolas, formam a “casca do eletrodo” e vão sendo consumidos à medida que o processo vai acontecendo. Para fazer uma analogia, a reposição do eletrodo pode ser comparada à inserção de grafite em uma lapiseira. Nesse caso a virola seria a parte externa do grafite e a pasta Soderberg o seu preenchimento. Por ser um processo contínuo, a velocidade dessa reposição

tem relação direta com os parâmetros de produção do forno, e por isso é necessário, por segurança, ter estoques de virolas para diferentes cenários de produção.

Sobre as especificações técnicas, a virola consiste em uma camisa de aço cilíndrica, reforçada com chapas de metal (costelas) furadas (estampadas) para permitir o fluxo da pasta de carbono. Esses elementos formam um tubo com doze costelas distribuídas simetricamente na sua parte interna. Cada extremidade da virola tem, internamente, um anel soldado chamado de *back metálico*, que ajuda na junção de duas peças. As fotos da figura 5 facilitam o entendimento.



Figura 4 - Na ordem das fotos: 1) Foto de um tubo pronto 2) Vista de cima de uma virola. Nota-se as doze costelas distribuídas simetricamente dentro do tubo. 3) Foto de uma costela, com os furos/janelas estampadas na chapa de aço. 4) Estoque de back metálicos que são soldados em cada extremidade da peça. 5) Cinta de junção unindo duas virolas no alto forno elétrico. Fonte: fotos tiradas pelo primeiro pesquisador no início do projeto.

Tabela 2 - tabela com as dimensões de cada componente da virola

Virola	Espessura	Altura	Comprimento (chapa)	Diâmetro
Tubo principal (Fotos 1 e 2)	3 mm	1500 mm	4386 mm	1400 mm
Costelas (Foto 3)	3 mm	1700 mm	310 mm	130 mm (Janelas)
Back metálico (Foto 4)	5 mm	20 mm	4386 mm	1400 mm
Cinta de junção (Foto 5)	3 mm	176 mm	1462 mm	1400 mm
Virola montada (2 tubos + Cinta)	3 mm	3176 mm	4386 mm	1400 mm

4.2 O fluxo de fabricação da virola

A atividade que envolve a fabricação peças através da conformação de chapas metálicas e soldagem de materiais chama-se caldeiraria industrial. Abaixo será detalhada essa atividade de caldeiraria para fabricação de virolas. O fluxo que será apresentado é o fluxo final após a estabilização da produção na EP, e vai ajudar no entendimento das etapas passadas durante a construção da oficina. As figuras esquemáticas abaixo ajudam a entender como é feita a produção da peça final:

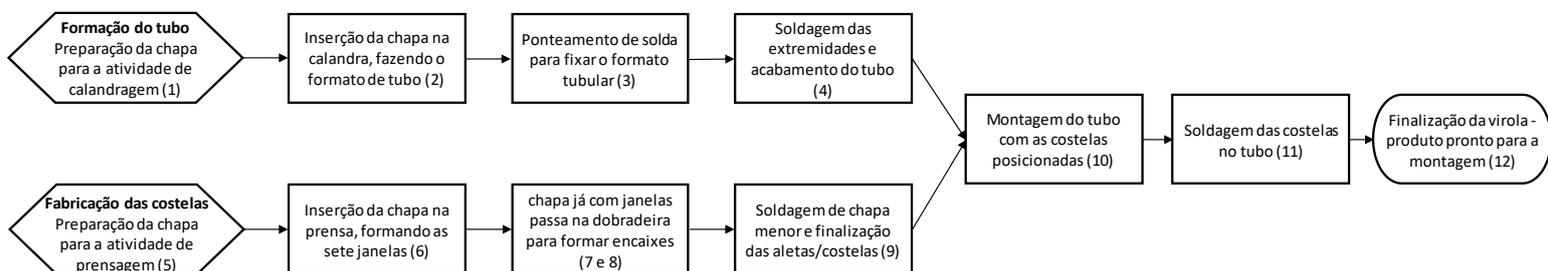


Figura 5 - fluxograma de produção de virolas. Os números ao final de cada processo servem para associar às fotos abaixo. Fonte: fluxo feito pelo autor.

O fluxo de fabricação de uma virola começa com a formação do tubo metálico, em um processo chamado de calandragem. Nesse processo, uma chapa de aço é separada de uma pilha (1) e passa por uma máquina chamada calandra, que vai curvando a placa até formar um tubo (2).

Já com o formato tubular, um operador faz o chamado ponteamento de solda nas extremidades da parte interna, cujo objetivo é manter a peça na posição para finalizar a soldagem (3). Feito isso, a última etapa é aplicar o cordão de solda na parte externa e fazer o acabamento (4).

Paralelamente, uma chapa de aço menor é estampada para formar as aletas/costelas, que serão soldadas posteriormente no tubo já pronto. A chapa de aço, já na dimensão correta, é separada da pilha (5) e encaminhada para a prensa, onde são estampados sete furos simétricos (6). São esses furos que permitirão o fluxo da pasta de carbono dentro do eletrodo montado.

Depois disso, a chapa passa por uma dobradeira (7) para fazer o formato de “L” na ponta (8), que é importante no encaixe de uma peça na outra. Ao final desse processo, uma chapa menor é soldada em um dos lados da chapa (9), fazendo com que a costela esteja pronta para ser soldada no tubo de aço. Por fim, a última etapa da fabricação é a soldagem das costelas e dos back metálicos no tubo (10 e 11), gerando a peça pronta para a montagem no eletrodo (12).



Figura 6 - Fluxograma de produção em fotos. Fonte: fotos cedidas do acervo do primeiro pesquisador.

4.3 A importância da virola, dados sobre a demanda e linha cronológica da produção

A caldeiraria industrial pode ser dividida em diferentes tipos, conforme as características das peças produzidas. Normalmente, as subdivisões da caldeiraria industrial são: leve (ou fina), média e pesada. Essa variação leva em conta aspectos como os limites de tolerância (aumenta da leve para a pesada), a espessura das chapas de aço utilizadas e, principalmente, o tamanho da peça fabricada.

Dentro desse contexto, a virola pode ser considerada um caso particular de caldeiraria. A altura da peça montada ultrapassa três metros, o que configuraria um serviço pesado, mas aspectos como a chapa muito fina (três milímetros) e os limites de tolerância restritos (dois milímetros para mais ou menos para cada medida) são próprios da caldeiraria fina. A caldeiraria tradicional em serviços metalúrgicos (serviço pesado) trabalha, usualmente, com chapas de espessura maior que uma polegada (2,54 cm) e com limites de tolerância padrão de cinco milímetros para mais ou para menos.

Essas particularidades da virola estão intimamente relacionadas à função da peça no processo metalúrgico. As tolerâncias apertadas e a espessura fina da chapa estão associadas à condução elétrica no forno de redução. Caso a junção de duas virolas esteja fora dos padrões de qualidade, é possível que sejam formados arcos no corpo do eletrodo, podendo ocasionar furos que permitem o vazamento da pasta de Soderberg. Um acidente desse tipo pode comprometer todo o processo de redução do minério, pois um vazamento de pasta altera a composição química do banho do metal, além de comprometer o formato do eletrodo.

Assim, por ser um elemento chave na operação, a fabricação de virolas deve respeitar os limites de tolerância e os padrões de qualidade requisitados. A história que se seguirá tem como objetivo contar como foi o processo de montagem de uma oficina para fornecer essas peças para o forno da indústria.

De acordo com a fabricante dos fornos, o volume nominal de consumo era de cerca de 40 virolas por mês por forno. Inicialmente, portanto, a área deveria fabricar 40 virolas por mês, considerando uma preparação inicial de estoque de segurança, que representava cerca de quatro meses de produção, dado as restrições geográficas e de fornecedores. Esse valor dobraria quando o outro forno fosse iniciado, chegando a uma demanda de 80 virolas por mês. Quanto à divisão do trabalho e à demanda de pessoas, esses números foram mudando bastante ao longo da história da oficina, parte por mudanças na demanda, mas também em decorrência do próprio

aprendizado na função. Esses parâmetros serão retomados à medida que o caso for sendo descrito.

A Figura 7 abaixo resume, na parte superior, como foi essa evolução dos níveis de produção com o tempo. É interessante já perceber que o intervalo entre o início da montagem da oficina e da produção da primeira virola foi de aproximadamente um ano, mas que aproximadamente três meses depois dessa primeira peça produzida a oficina já estava com um nível de produtividade suficiente para atender um forno elétrico. Os fatos que levaram a isso estão resumidos na parte de baixo da figura e serão aprofundados ao longo do estudo de caso. Para facilitar a leitura, a história será dividida em três momentos:

- 1º momento: do “complexo” ao “simples”, terceirizando o problema – período anterior ao início efetivo da montagem da oficina na EP, em que existia a necessidade de se terceirizar a produção para ter estoques de segurança suficientes para cumprir com o *start-up* do primeiro forno para o final de 2010.
- 2º momento: alinhando o processo e seus equipamentos, sobre a “tentativas e erro” na montagem da oficina – momento em que os equipamentos foram sendo comprados e instalados para a produção interna, mas que alguns tiveram que ser substituídos por não serem adaptados à operação.
- 3º momento: a (re)criação e a inovação no chão de fábrica – momento em que, passados os desalinhamentos e tendo atingido a meta de produção, ferramentas e equipamentos foram sendo desenvolvidos pelos operadores para melhorar a produtividade e as condições de trabalho

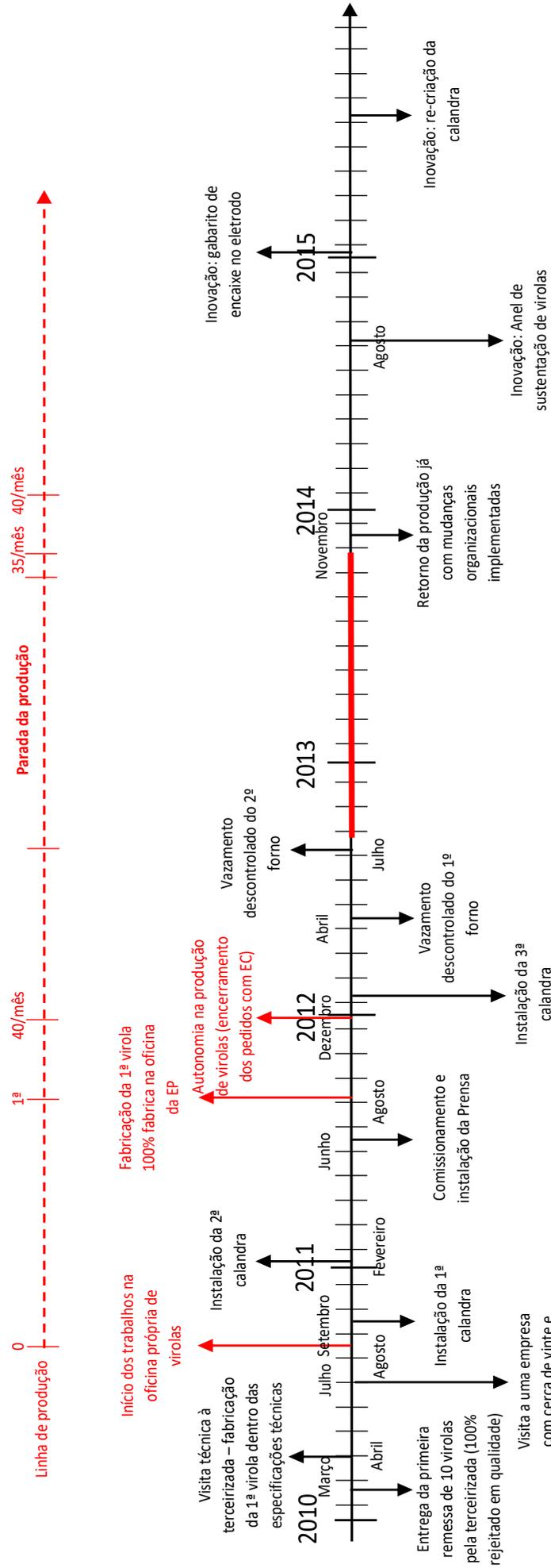


Figura 7 - Linha do tempo dos fatos e evolução dos dados de produção da oficina.
 Fonte: linha desenhada pelo autor.

4.4 1º Momento - do “complexo” ao “simples”, terceirizando o problema

Para iniciar a área de virolas, a EP decidiu terceirizar a fabricação para ganhar tempo enquanto montava sua própria oficina. Assim, três processos eram levados em paralelo: uma concorrência entre empresas de caldeiraria para fabricar um lote inicial de virolas, a contratação de caldeireiros para a área e a compra de equipamentos para a fabricação interna.

Para coordenar esse processo, um consultor foi contratado. Esse cargo foi ocupado por uma pessoa que possuía experiência de quase vinte anos em uma caldeiraria, também em uma empresa de beneficiamento de níquel. A função dele era utilizar essa experiência para auxiliar o processo de construção da área.

Ao final do ano de 2009, uma empresa que será denominada Empresa Contratada (EC) tornou-se responsável pelo fornecimento do primeiro lote de peças. Passados cerca de três meses de sua contratação, chegaram à EP a primeira remessa de dez virolas prontas. Ao avaliá-las, tanto a equipe da EP quanto a da empresa que tinha construído o forno reprovaram toda essa remessa. As peças enviadas estavam fora dos padrões de qualidade requeridos, todas com defeitos acima dos limites de tolerância estipulados no projeto enviado quando da licitação.

Nesse momento em que as peças foram recebidas, a contratação de alguns funcionários para a equipe de fabricação virolas já tinha sido feita. Tanto os caldeireiros quanto os soldadores contratados tinham larga experiência em suas funções, porém sempre trabalhando com caldeiraria pesada, o que fazia da virola uma novidade para eles. Quando da chegada das virolas, esses funcionários puderam acompanhar as inspeções de qualidade juntamente com o consultor e os responsáveis pelo forno.

Para resolver esses problemas, a gerência pediu a esse grupo recém-contratado para fazer uma primeira avaliação das causas que levaram aos defeitos apresentados. Feito isso, esses funcionários visitariam a terceirizada, para ajudá-los na fabricação.

Entre os problemas detectados nas virolas recebidas destacam-se os seguintes: a) um “bico” se formou onde é feita a emenda da chapa (Figura 8); b) a virola ficou com o formato de um duodecágono (Figura 9) e c) a solda exibiu as chamadas ‘mordeduras’ (Figura 10). Esses problemas serão discutidos na sequência, ressaltando os comentários feitos pelos funcionários, antes e depois da visita, quando tiveram a possibilidade praticar a produção em conjunto com os funcionários da EC.

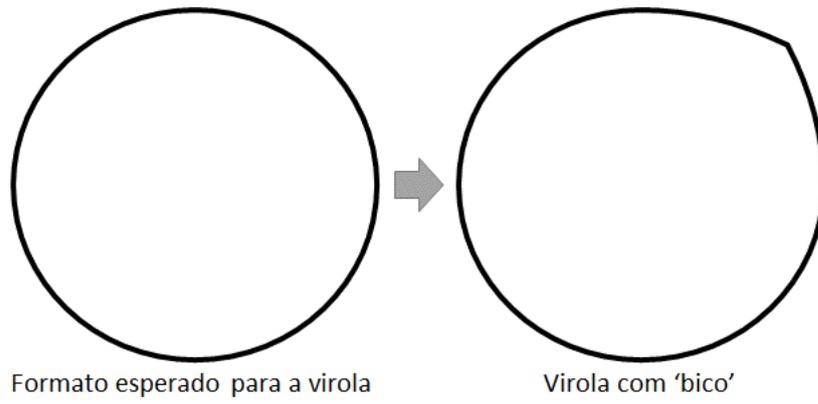


Figura 8 - Esquema demonstrando o 'bico na virola'. Fonte: do autor.

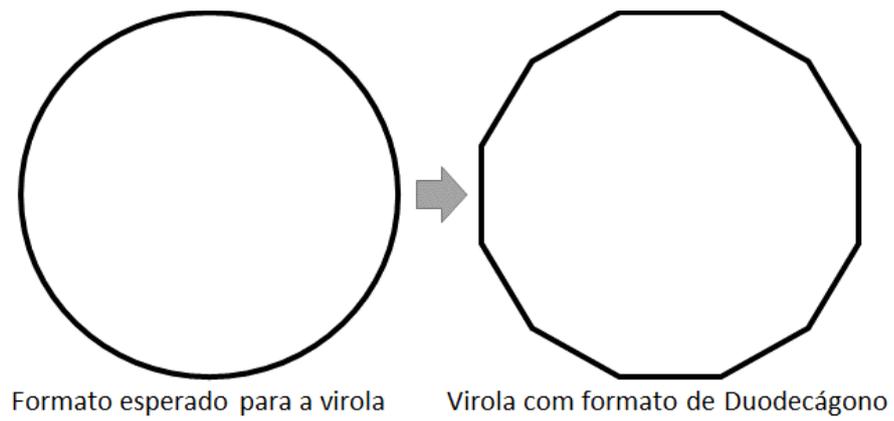


Figura 9 - Esquema demonstrando o formato de duodecágono. Fonte: do autor.



Figura 10 - Foto retirada do relatório de rejeição das peças. As mordeduras são espécies de reentrâncias abaixo do nível do material, que tem um aspecto semelhante a uma mordida. Fonte: fotos cedidas do acervo do primeiro pesquisador.

Antes da visita – resolução teórica

Para cada um dos problemas encontrados, foram endereçadas possíveis causas e soluções ainda na oficina da EP. Com base em suas experiências anteriores, os funcionários apontaram o que causaria o bico na virola, o formato de duodecágono e as mordeduras. Para o bico na virola o consenso era que a atividade de calandragem, responsável pela circunflexão da chapa de aço, não havia sido bem executada. Para eles, seria necessário utilizar uma chapa maior que o diâmetro da peça, para que, ao dobrá-la, fosse possível cortar o pedaço não dobrado pela máquina. Os caldeireiros chamaram esse excesso de “sobremetal”, e disseram que esse era um processo normal na calandragem:

“Pra quem tem uma experienciazinha em caldeiraria sabe que tanto faz a chapa ser de 1 milímetro, como ser de 10 milímetros. Se você não der entrada [colocando o sobremetal], ela vai ficar com esse bico do mesmo jeito” (Paulo)

Juntamente a essa ideia, foi indicado que a calandragem deveria deixar uma brecha de dois milímetros entre as chapas. Esse espaço seria o suficiente para a entrada do cordão de solda, e também ajudaria a obter uma peça mais arredondada.

Em relação ao formato da peça, os soldadores alegaram que a peça ficou como um duodecágono devido ao “excessivo tempo de solda”. Esse tempo a mais teria gerado a dilatação do material, formando as quinas. Já sobre as mordeduras, a análise inicial dos soldadores da EP era a de que a solda não “tinha sido feita com capricho”. Um dos soldadores resumiu da seguinte maneira o problema de formato da peça:

“Eu acho [que o problema] é a demora pra soldar a virola, tá colocando muito material [solda] na virola, não muito assim, mas excedia o que o padrão pedia, e a peça estava contraindo por causa disso ” (Pablo).

Assim, na visão deles, a solução antes de ir até a EC seria incluir o “sobremetal”, acertar o tempo de solda e fazer o serviço “com mais capricho”, resultando em uma peça circular e sem mordeduras.

A fabricação in loco – resolução prática

A solução pensada para o bico (a) era deixar um sobremetal, que seria cortado depois de arredondar a peça e antes da soldagem, mas não se tinha um valor preciso para esse excesso. Antes da fabricação, a equipe pensou em deixar 150mm, porém, ao colocar essa medida na prática, os caldeireiros perceberam que esse valor não seria suficiente. Com esse experimento malsucedido, eles resolveram aumentar a medida para 200mm, o que se mostrou eficaz.

Além disso, a outra ideia de deixar a brecha de dois milímetros na emenda funcionou bem e foi prontamente considerada como um método padrão a se seguir. No caso dos outros problemas o processo foi mais complicado.

Para a solução dos problemas de formato (b) e mordeduras (c), as dificuldades encontradas foram bem mais complexas do que se previa. Segundo os soldadores, a questão envolvia variáveis como a regulagem da máquina de solda, a velocidade e força com que a mão do soldador se move, o sentido do movimento de solda e o comportamento daquele material específico. O que parecia, em primeiro momento, uma mera “falta de capricho” por parte dos funcionários da EC, era, na verdade, uma questão muito mais complicada do que se podia imaginar.

Com o intercâmbio de ideias entre as equipes, chegou-se ao consenso de que se devia soldar a virola na posição vertical com um movimento descendente. A figura 11 mostra a diferença da posição de soldagem da peça. Sobre essa mudança um dos soldadores comentou:

“A gente tava usando aqueles dois viradores ali, de tubo, para montar ela na posição horizontal. [...]E foi o que contraiu muito. [...] depois resolvemos fazer na posição vertical [...] A diferença é que [...] na posição horizontal o peso dele com a solda, quando tá quente, a tendência é ele flexionar, né? E quando você tá com ele em pé, a diferença é que não tem peso pra solda” (Carlos, soldador da EC).

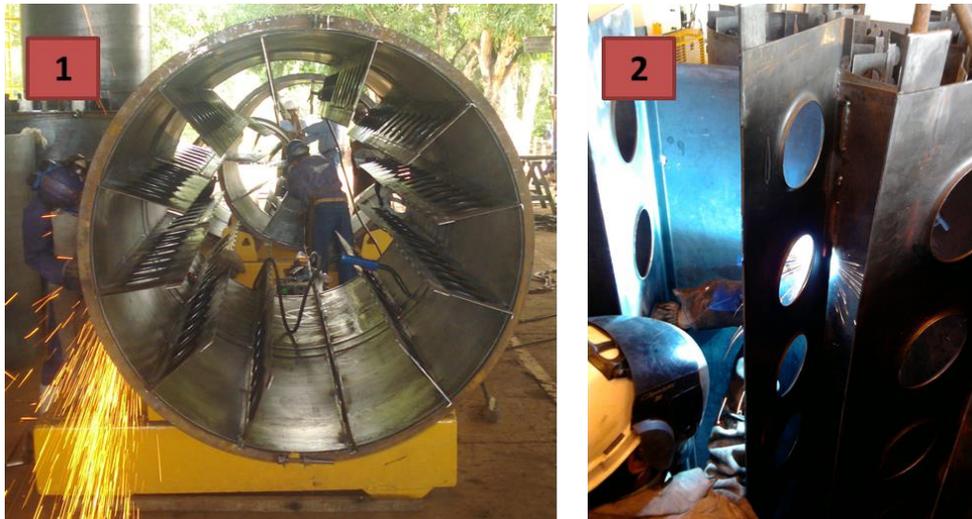


Figura 11 - a montagem da virola era feita na horizontal. O virador citado é a peça amarela no piso (foto 1). Na foto 2 o soldador está na parte interna da virola, soldando a peça na vertical, com movimentos descendentes, iniciando no topo.

Fonte: fotos cedidas do acervo do primeiro pesquisador.

No entanto, a questão foi que a definição do sentido e da posição da solda não foi suficiente para chegar à qualidade exigida. A máquina de solda MIG, utilizada nesse serviço, tem dois parâmetros reguláveis: a velocidade de alimentação e a corrente elétrica. A tensão aplicada depende desses parâmetros e da distância entre a ponta do arame e a chapa a ser soldada. Espera-se do soldador experiente que ele saiba, tanto pelo material ou até mesmo pelo barulho da máquina, fazer essa regulagem resultando em uma solda de acordo com a especificação da peça. No caso da virola, a especificação é de 2 mm de solda, o que é considerado um valor muito

“apertado”, exigindo precisão por parte do operador. Essa dificuldade foi relatada pelos soldadores:

“A dificuldade maior nossa nessa parte aí foi encontrar a regulagem certa pra você poder fazer uma solda de qualidade [...] se ela for um pouco alta, que você joga na peça, ela contrai a peça, ela puxa pra dentro. Aí aqueles lugares onde está os pontos de solda, ele puxa e fica assim, tipo um quadrado. [...] Evitar que não contraia totalmente é difícil, não tem como, por que a solda, ela não tem como ela não contrair a peça. Mas o máximo possível que você puder evitar que ela contraia é melhor ainda, para um serviço de qualidade e bem feito.” (César, soldador da EC)

Percebe-se que a solda de virola exige, além do ajustamento dos parâmetros, uma habilidade motora que os soldadores ainda não tinham. Essa habilidade é verbalizada pelo soldador como o “tempo da mão”, e varia de acordo com cada operador. Assim, é nesse momento que a falta de experiência prática em virolas mostra-se um problema grave, pois afeta diretamente a qualidade da virola e a capacidade produtiva da equipe.

Para se ter uma noção do impacto que isso poderia trazer, as duas equipes conseguiram fazer apenas uma virola durante toda a visita, que durou cerca de duas semanas. Ao se considerar a produtividade necessária para atender cada forno (cerca de duas virolas por dia), percebe-se que os funcionários da EC ainda estavam longe do ritmo esperado.

Por isso, algumas questões importantes emergem nesse momento: i) Por que o processo que parecia simples foi tão “complexo”? ii) qual foi o papel da visita dos funcionários da EP na resolução desses problemas de qualidade? iii) e por último, dada a dificuldade em fabricar peças no padrão de qualidade exigido pelo processo do níquel, poderia a equipe da EP alcançar o patamar de produtividade necessário para manter dois fornos funcionando? Para cada uma dessas questões abre-se um tópico a seguir.

Escolha do método, experimentação e aprendizagem na prática: *por que o processo que parecia simples foi tão “complexo”? (i)*

Para exemplificar e responder à pergunta “i”, podemos pegar algumas passagens da visita dos trabalhadores à EC. Antes da visita foi sugerido que se deixasse um sobremetal na operação de

calandragem, para evitar o bico nas virolas. O método se mostrou efetivo, mas o tamanho correto desse sobremetal só foi conseguido experimentando um valor que parecia razoável, revendo esse valor, tentando novamente e chegando ao resultado esperado.

A soldagem, por outro lado, estava sendo feita por meio de um método que não surtia o efeito desejado. Durante o processo na empresa, os visitantes questionaram a solda feita com a virola na horizontal, o que provocava, segundo eles, maior deposição de material e a ovalização de alguns tubos. A sugestão para resolver esse problema seria soldar os tubos na vertical. Mesmo essa ideia tendo potencial, as habilidades motoras no jeito de posicionar a mão na solda, a velocidade que devia ser impressa e a regulagem da máquina só foram conseguidas na prática.

Antes de ir até a EC, os operadores da EP tinham a expectativa que a atividade seria simples, pensando em suas experiências com outros tipos de caldeiraria. A “complexidade” veio, portanto, pela falta de experiência dos envolvidos naquele tipo de atividade específica.

Enculturação e entendimento global do processo: *qual foi o papel da visita para a equipe da EC?(ii)*

Nesse aspecto, o consultor, com sua longa vivência em uma área de virolas, teve um papel de destaque. O contato com alguém que tinha vivido tanto tempo as peculiaridades daquele processo foi uma forma de enculturação nesse meio para os outros operadores, seja pela sugestão de métodos, seja por trazer aspectos da importância da virola para o forno.

A pergunta “ii” pode, em partes, ser respondida por essa diferença. Ao serem questionados sobre todas as adaptações que acabaram sendo feitas, os funcionários da EC alegaram que, antes da visita, as achavam desnecessárias, tendo em vista o tipo de trabalho que costumavam fazer. Além disso, eles disseram não ter total ciência do tipo de processo a que a virola teria de atender, e a razão da precisão requerida. Foi com a presença do consultor e dos funcionários da EP no dia a dia da fabricação que essa percepção sobre a qualidade necessária em um processo pirometalúrgico começou a existir, conforme mencionado pela equipe da EC:

“A questão da precisão na parte circular dela, na circunferência, [descobrimos que era importante] na segunda visita dele [consultor havia feito uma visita preliminar antes de levar a equipe], porque aí ele foi explicar direitinho que lá tinha um dispositivo no forno, que ele é energizado, que aonde ele não tocar ele vai abrir arcos, e vai furar a

virola, essa não vai descer. [E isso] a gente não sabia não.” (Carlos, soldador da EC).

Não seria necessário dizer aos caldeireiros da EC que o limite a ser respeitado na caldeiraria tradicional é de cinco milímetros, para mais ou para menos, essa prática já faz parte da prática daquele grupo. Quando existe uma mudança de paradigma, porém, a enculturação com pessoas experientes auxilia na percepção das particularidades desse novo processo.

Aprendendo com um processo já estabilizado: *Era possível atingir o nível de produtividade necessário? (iii)*

Cerca de trinta dias após esse intercâmbio, em outra visita do consultor à EC, nove virolas de um total de onze que estavam no pátio foram aprovadas. Porém, como relatado, ainda havia restrições a respeito da produtividade requerida – a demanda nominal dos fornos era de 2 virolas por dia, e a produção da EC, neste momento, não ultrapassava 0,5 virolas por dia. Obviamente, isso preocupava todos dentro da EP, que não acreditavam ser possível atingir um nível tão alto de produtividade.

Para responder à pergunta “iii”, o consultor resolveu organizar uma visita técnica, para que os funcionários da EP vissem um processo de fabricação de virolas em pleno funcionamento. Como havia trabalhado por um bom tempo numa empresa que detinha *know how* sobre o processo de beneficiamento de níquel, ele fez alguns contatos e viabilizou a visita para toda a equipe até então contratada.

Ao chegar à Empresa Experiente (EE), os funcionários tiveram a oportunidade de acompanhar um processo de fabricação de virolas que funcionava há mais de vinte anos. A equipe da empresa visitada era constituída de profissionais com no mínimo cinco anos de experiência na área. Segundo os relatos desses trabalhadores experientes, a área produzia, por dia, seis virolas, o triplo do valor nominal necessário na EP. Ainda segundo eles, caso houvesse algum imprevisto que demandasse uma produção maior, eles tinham condição de produzir até dez virolas em um dia.

Ao tomar conhecimento desses dados, os trabalhadores da EP ficaram impressionados. Ao presenciar o dia a dia da área, a surpresa foi ainda maior, pois foram vistos métodos, ferramentas e equipamentos que eles não tinham imaginado antes. Um dos funcionários fez um comentário que exemplifica bem o impacto daquela visita para a equipe:

“Cara! Lá... algum fantasma que tinha a respeito de virola, sumiu tudo! Porque, a simplicidade com que os caras trabalham lá... os caras trabalham como se tivessem na casa, na casa deles. Um processo muito normal. Agora, vale salientar a experiência que eles têm lá, né? [...] Mas é um processo muito simples. Com os dispositivos que eles têm lá, é muito... muito simples. Trabalham normalmente e batem a meta deles tranquilo” (Paulo) (ênfase adicionada).

A resposta para a pergunta “iii” veio, portanto, com a ida dos trabalhadores a uma empresa com experiência na fabricação de virolas. A mensagem passada foi de que era possível atingir a produtividade necessária dentro da EP. É interessante observar na fala do caldeireiro novamente o termo “simplicidade” para descrever o processo. Em uma produção já estabilizada, com trabalhadores experientes e equipamentos adaptados, a antes complexa fabricação de virolas ficou “simples”.

Além do lado motivacional, a oportunidade de acompanhar a produção na empresa também teve impactos reais na posterior criação de ferramentas e equipamentos e na futura escolha de métodos de fabricação. Além disso, a visita também auxiliou na definição do que é “qualidade em virolas”. As peças produzidas na EE eram funcionalmente satisfatórias, ou seja, eram peças que atendiam aos critérios requeridos para a redução do níquel no forno. Porém, o que se considerava qualidade na empresa experiente era diferente do que os visitantes esperavam. A questão é que os pequenos “defeitos” vistos no acabamento não eram algo que afetava o processo, e os trabalhadores experientes sabiam disso. Portanto, os operadores da EP estavam gastando um considerável tempo tentando atingir certa precisão que não era necessária, pois não iria interferir no processo produtivo.

Restava, para a fase inicial de construção da área de virolas da EP, a compra dos equipamentos necessários para as atividades na oficina. O primeiro semestre de 2010 já havia passado e a expectativa passada pelas visitas era que em três meses a fabricação já estivesse funcionando com a produtividade necessária. O que aconteceu, porém, foi bem distinto dessa expectativa, tendo levado mais de um ano para que a primeira virola completa fosse fabricada na oficina da EP.

4.5 2º momento - assumindo a produção: aspectos antes desconsiderados

A construção de uma oficina de virolas depende principalmente da compra de dois equipamentos: a calandra e a prensa. A calandra é o equipamento responsável por fazer a circunflexão da chapa de aço, e a prensa (ou estampadeira), por sua vez, é o equipamento que forma os buracos nas costelas.

Enquanto as visitas e as contratações estavam sendo feitas, o gerente de manutenção da área (será chamado de João) já havia aprovado a aquisição de uma calandra. Segundo o João, essa calandra seria diferente daquela vista na visita à EE e não representaria um problema, visto que era um equipamento tido como um dos melhores do mercado. A figura 12 abaixo mostra fotos do equipamento.



Figura 12 -Comparativo entre as calandras da EP (primeira foto) e da EE (segunda foto). Fonte: As fotos da calandra da EP foram tiradas pelo autor em campo, enquanto a da EE foi tirada pelos operadores na visita (do acervo do primeiro pesquisador).

A calandra adquirida era considerada de alta tecnologia, com recursos automatizados. Era um equipamento de quatro rolos, com cada rolo medindo 300 milímetros (foto de cima da Figura

12), enquanto a calandra da EE era de três rolos, cada um medindo 120mm (foto de baixo da Figura 12). A foto da EE não está clara, mas é possível notar a diferença de tecnologia em cada uma delas. O painel do equipamento comprado permitia o manuseio via tecnologia, enquanto o da EE era manual. A ideia da gerência era utilizar essa calandra e comprar uma remessa de costelas prontas da EC, para que as virolas pudessem ser montadas na oficina da EP enquanto se aprovava a compra da prensa.

A situação da oficina no meio de 2010 pode ser resumida da seguinte maneira: área ainda sem ponte rolante e eletricidade, uma calandra já comprada, mas não montada, costelas terceirizadas e equipe parcialmente formada. Essas pendências só foram resolvidas por volta do mês de setembro, sendo que o *start-up* da planta iria iniciar em dezembro desse mesmo ano.

Em tese, com esses ajustes feitos, a oficina estava pronta para iniciar a fabricação. O que aconteceu na prática, porém, não foi bem isso. Durante quase dois meses, os caldeireiros tentaram sem sucesso utilizar a calandra comprada, que era, nas suas próprias palavras, um “equipamento fora de padrão para fabricar virolas”. Para eles, por ser um equipamento muito grande, e por ser a virola uma peça relativamente pequena, a dobra do início da chapa deixada pelos rolos da máquina nunca seria suficiente para evitar o ‘bico’.

A recomendação do João era de que os operadores tentassem adaptar o equipamento às necessidades da oficina. Esse posicionamento estava relacionado principalmente ao alto valor investido em um equipamento que prometia ser o mais avançado do mercado. Contudo, a conclusão após mais algum tempo de tentativas era de que realmente o equipamento não conseguiria atender à oficina.

Para realizar uma nova compra, era necessário passar por uma série de etapas dentro de um fluxo estabelecido pela matriz da EP. A figura 13 abaixo representa esse fluxo de compras dentro da empresa para se adquirir um novo equipamento.

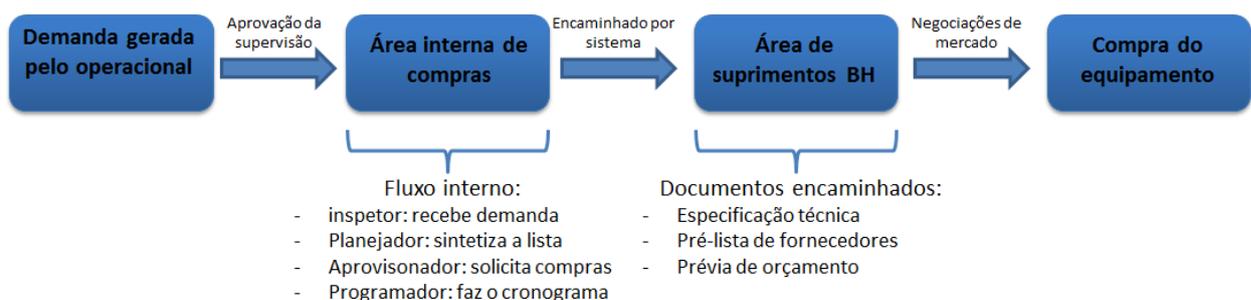


Figura 13 - Fluxo padrão para processos de compra de novos equipamentos dentro da EP. Fonte: do autor.

Como pode ser visto, existe uma série de interfaces que precisam estar alinhadas para que o processo de compra seja efetuado. Além de existirem muitas áreas diferentes, ainda existe uma barreira geográfica nesse processo. A área responsável pelo contato direto com os fornecedores não está localizada na planta industrial. Nesse contexto, os documentos enviados via sistema pela área de suprimentos local são o único recurso técnico para decisão de compras. Essa especificação técnica precisa conter, portanto, todas as informações necessárias para que a compra esteja de acordo com as necessidades da operação

A nova calandra seguiu esse fluxo para ser adquirida. Visto que o primeiro equipamento comprado era maior e mais sofisticado que o necessário, a ideia agora era de que a nova máquina fosse mais simples, porém adaptada ao processo. O histórico de compras mostra que o desembolso para esse novo equipamento foi cerca de quatro vezes menor do que o primeiro. No início de 2011, esse novo equipamento já estava na oficina (figura 14). Dois dos caldeireiros contratados (Paulo e Pedro) ficaram responsáveis por operar a máquina.



Figura 14 - A segunda calandra comprada pela EP. Dessa vez o equipamento tinha apenas três rolos, medindo 120 milímetros cada. Nota-se que esse modelo é muito menor que o outro. Fonte: fotos cedidas do acervo do primeiro pesquisador.

Ao colocar o novo equipamento para funcionar, os caldeireiros tentaram conformar alguns tubos e perceberam que ele precisaria de ajustes. Quase toda a parte mecânica foi substituída para que se conseguisse fabricar uma peça. Esse processo durou cerca de 3 meses, pois novos componentes precisaram ser comprados. Segundo esses operadores, apesar de mais adaptada ao tipo de material que se manuseava na fabricação de virolas, a nova calandra não era adaptada

ao alto fluxo de produção exigido no processo. Por isso houve a necessidade de tantas adaptações no maquinário, pois o equipamento exigiria uma grande periodicidade de manutenções para operar no volume de produção necessário, o que poderia acabar gerando gargalos na produção.

Após as modificações citadas, os caldeireiros conseguiram colocar a calandra em funcionamento já na parte final do primeiro semestre de 2011, seis meses após o *start-up* da planta. Isso marcou o início da fabricação própria de virolas, considerando que as costelas ainda eram compradas da terceirizada e a calandra ainda apresentava problemas frequentes.

Para que os erros na compra da prensa não se repetissem, a gerência resolveu entrar em contato com a empresa concorrente para replicar o equipamento utilizado por lá. Assim, foi pedida a especificação técnica da prensa utilizada nessa empresa, documento reenviado para o fornecedor pedindo um equipamento igual. Isso facilitou o processo de compra, fazendo com que a máquina chegasse com maior rapidez do que as aquisições anteriores. Uma vez ligada, a máquina não apresentou problemas, estando em conformidade com a fabricação de costelas.

Em setembro de 2011, já com a prensa funcionando, a EP produziu a primeira virola totalmente fabricada na oficina. Para chegar a essa primeira peça, portanto, passou-se mais de um ano desde a volta das visitas técnicas.

Isso não significou, porém, que o processo estava estabilizado. Ainda existiam problemas com a qualidade, sendo a estimativa dos envolvidos à época que 25% das virolas produzidas eram descartadas. Existia, também, a necessidade de se ter um plano contingencial em caso de defeito nos equipamentos. A calandra utilizada era, nas palavras do operador, “muito problemática”, o que poderia ser um fator de parada na produção. Assim, a gerência fez um novo pedido de compra para que uma terceira calandra fosse comprada, seguindo a mesma lógica de aproveitar especificações e fotos da EE. A terceira calandra também funcionou bem desde sua chegada à oficina.

Após a visita à EE, os funcionários afirmaram que com três meses eles estariam aptos a fabricar virolas. Isso representaria um início de fabricação em meados de setembro de 2010. Imaginava-se que esse tempo seria o suficiente para desenvolver as habilidades motoras e entender o processo como um todo. O que eles não consideravam era que a compra e adaptação de equipamentos poderia ser uma barreira.

A previsão dos funcionários não era absurda, pois ao final de 2011, cerca de três meses depois da fabricação da primeira virola totalmente interna, a área já estava autossuficiente na produção da peça. Os relatos indicam uma produção média no início de 2012 de aproximadamente quarenta virolas por mês. O problema era que, mesmo na construção de uma oficina entendida como “simples”, existem particularidades que dependem de pessoas com vivência prática nessa atividade. Diferentes áreas estão envolvidas nesse processo, como visto no processo de especificação dos equipamentos, o que dificulta a construção da oficina. Para atender os níveis de produção necessários, esse ritmo de produção precisaria aumentar quando o segundo forno fosse ligado. Por isso a ideia era ir aumentando a produtividade com a prática até atingir o valor necessário para atender toda a demanda.

4.6 3º Momento - a (re)criação e a inovação no chão de fábrica

Como visto, a ordem, no início de 2012, era a de produzir o máximo possível para o início da operação do segundo forno. O que aconteceu no final do primeiro semestre, porém, alterou todo o planejamento da oficina. Pouco depois do início da produção em dois fornos, houve um vazamento descontrolado em um deles, o que fez com que a planta voltasse a produzir com apenas forno. Pior que isso, meses depois do primeiro vazamento, o segundo forno também teve o mesmo problema operacional, fazendo com que toda a planta parasse.

Esses acidentes, cujas causas não serão discutidas aqui, fizeram com que a oficina de virola parasse durante um ano e meio. Após a resolução dos problemas, a produção foi retornada no final de 2013 para atender apenas um forno, situação que durou pelo menos até o final da pesquisa de campo, em 2015. Apesar de não ter sido planejada a parada, o tempo sem operação serviu para que mudanças organizacionais fossem feitas, agora já baseadas nos aprendizados advindos da prática. Isso ocorreu em diversas áreas da planta e a oficina de virolas foi uma delas. Os quadros de funcionários foram ajustados durante a parada, além de ter sido feita a reorganização de funções de operadores, supervisores e gerência.

A organização no retorno da produção, com as mudanças promovidas, pode ser resumida da seguinte maneira: equipe reduzida composta por dezesseis operadores e funções de montagem e fabricação centralizadas. Antes existiam duas equipes distintas, uma responsável pela fabricação na oficina e outra responsável pela montagem das virolas nos eletrodos. Isso significou que o escopo de trabalho dos operadores de virola aumentou, passando a ser responsabilidade do mesmo grupo fabricar na oficina e montá-la posteriormente no eletrodo.

Especificamente quanto à fabricação, apesar de ter operado por dois anos, o processo ainda não estava totalmente estabilizado no que concerne aos parâmetros de controle da produção. Esse controle dependia de um tempo maior de atividade com o forno funcionando perto da sua capacidade nominal, para entender o comportamento da demanda de virolas. Ou seja, com um banco de dados montado sobre o consumo de eletrodo no forno seria possível fabricar apenas o necessário, evitando um acúmulo desnecessário de estoque.

A primeira meta passada para a área foi de sessenta virolas por mês, valor que era entendido como seguro para montar e manter um nível de estoque de peças. Com o passar do tempo, porém, percebeu-se que o valor real estava no intervalo entre trinta e oito e quarenta e cinco virolas por mês, o que levou à alteração das metas de produção. O mesmo aprendizado ocorreu em relação ao nível de estoque, que permanecia na faixa de cento e oitenta virolas. O controle da produção apontou que o nível de estoque ideal era, na verdade, o suficiente para três meses sem produção, considerando as restrições de máquinas e logística. Isso possibilitou que a área diminuísse o estoque para cento e vinte virolas, reduzindo custos associados com o armazenamento e ajustando o planejamento para um valor otimizado.

A experiência adquirida no processo e as mudanças na organização do trabalho e no controle da produção liberaram tempo de fabricação dos operadores. Esse tempo passou a ser ocupado com projetos de melhorias e inovações incrementais na oficina, quase sempre liderados pela equipe mais antiga, que, além de ter enfrentado todos os problemas iniciais na oficina, também conseguia produzir mais rapidamente sua meta mensal.

Além disso, a capacidade de julgamento dos operadores nesse momento era mais aguçada do que a dos novos gestores, dado que tanto o supervisor quanto o gerente foram trocados na parada de produção. Para os operadores, essa diferença de expertise foi fundamental para que houvesse uma maior autonomia nos projetos e facilitou a alteração contínua dos meios de produção. Alguns exemplos de inovações incrementais e mudanças na oficina servem para demonstrar a evolução que foi acontecendo na fabricação de virolas durante todo esse período.

4.6.1 Inovações incrementais: novos dispositivos e ferramentas

No início do processo de fabricação de virola, esperava-se que a prática levaria às habilidades na operação, verbalizada como o “pegar a manha” nas atividades. Após quatro anos de operação, porém, o que pôde ser visto na área foi um desenvolvimento que vai além dessas habilidades.

Com o tempo, os operadores passaram a criar novas ferramentas e equipamentos, indo além das práticas vistas na EE, por exemplo. Essas inovações demonstraram não só a experiência adquirida com o tempo, mas também a participação efetiva dos operadores na melhoria contínua da área. Algumas modificações exemplificam bem esse processo, e serão apresentadas a seguir.

Melhorias em equipamentos e ferramentas

As visitas à EE e à EC, em 2010, possibilitaram o aprendizado no método de soldagem mais adequado. O processo de solda de costelas na virola deveria ser feito na vertical e, para tanto, a fabricação requeria um equipamento que desse apoio à virola.

Após a visita à EE os caldeireiros tentaram replicar algumas ferramentas utilizadas por lá. A concorrente utilizava uma plataforma que facilitava muito esse trabalho, e o modelo visto e fotografado serviu de base para a construção de algo parecido na oficina, já em 2011. A figura 15 abaixo mostra a comparação entre as ferramentas.



Figura 15 - A foto à esquerda foi tirada na EE em 2010, e a da direita é da EP em março de 2011. Fonte: fotos cedidas do acervo do primeiro pesquisador.

O conceito da plataforma era o mesmo da EE, com gabaritos para o encaixe das costelas e uma elevação de 500 mm para que o soldador entre por baixo da virola para solda vertical. Para o acesso ao equipamento, os operadores da EE desenvolveram uma espécie de ‘skate’, sobre o qual eles deitavam e deslizavam para baixo da virola. Esse conceito também foi copiado na EP. A partir da utilização da construção desse primeiro modelo de plataforma semelhante à da EE, os operadores da EP começaram a fazer melhorias nesse equipamento. A primeira modificação importante foi a construção de uma plataforma dupla ao invés de simples, isso é, duas estações de solda de virola ao invés de uma. As costelas podem ser feitas com a parte soldada apontando para a direita ou para a esquerda, para que, quando montadas, elas se encaixem perfeitamente.

Cada lado dessa nova plataforma era adaptado com um molde para soldar as costelas apontando para um desses lados, facilitando o trabalho e permitindo a solda de duas virolas em paralelo.

A nova plataforma possui, também, suportes individuais para costelas já fabricadas, diminuindo o desperdício com movimentações desnecessárias. Por último, e talvez mais importante, os operadores da EP desenvolveram pequenos gabaritos no chão da plataforma, que permitem o encaixe do *back metálico* inferior na virola. Antes de existirem esses gabaritos, soldava-se o *back metálico* superior por cima da virola, para depois pegar a ponte rolante, girá-la, e soldar do outro lado. Com a modificação tornou-se possível soldá-las em paralelo, sem necessidade de utilizar a ponte rolante, e sem o risco de girar a virola. As fotos da Figura 16 ilustram essas três modificações no equipamento.





Figura 16 - as **2** fendas de encaixe acima mostram a estação de costelas esquerdas (1). Os gabaritos retangulares (2) são os dispositivos de encaixe do back metálico, que é encaixado nas fendas centrais, permitindo sua solda na virola, que fica apoiada na parte externa, em cima dos gabaritos. Fonte: fotos tiradas pelo autor em visita a campo.

Outra importante modificação foi feita na calandra de chapas. Entre os problemas reportados das primeiras virolas da EC, o principal deles era um bico no tubo, causado por uma calandragem malfeita das chapas. Na época, a solução encontrada foi a de colocar um sobremetal, e cortar os restos que entravam para a circunferência, o que era trabalhoso, e representava um grande desperdício de material.

Depois de muita experiência na área, os operadores desenvolveram um gabarito azul, anexo à calandra, que guia a dobra da chapa por meio de rolos. Com essa modificação, o sobremetal passou a não ser mais necessário na fabricação do tubo. Os registros mostram que a calandra da EE não tinha esse gabarito, sendo mais um exemplo de inovação feito dentro da EP com a experiência adquirida no processo. A figura 17 abaixo mostra esse gabarito azul.



Figura 17 - A chapa entra da esquerda para a direita nos rolos da calandra, passa pelo gabarito azul anexo, formando uma circunferência totalmente redonda, respeitando-se as restrições apertadas da virola. As partes destacadas em vermelho são as ferramentas criadas pelos operadores. Fonte: fotos tiradas pelo autor em campo

4.6.2 (Re)criação de equipamentos

Durante o período de construção da oficina de virolas, o equipamento que mais deu problema foi a calandra. Esse tempo de dificuldade fez com que os operadores gastassem grande parte do seu turno de trabalho tentando ajustar a calandra às necessidades da oficina. Assim, as constantes tentativas de fazer o equipamento funcionar e os consequentes erros e acertos da atividade fizeram com que uma grande experiência fosse adquirida pelos caldeireiros.

Alguns dos operadores mais antigos, que passaram pela experiência de tentar fazer as calandras fora de especificação funcionar, sugeriram que fosse reservado um tempo para tentar colocar a calandra antiga para funcionar. A ideia ia ao encontro das necessidades da oficina, pois o equipamento era o gargalo da produção e o maior risco em caso de parada para manutenção.

Assim, esses funcionários começaram a alterar a calandra menor com o objetivo de transformá-la em um equipamento similar ao que estava em operação. Para esse processo de re-criação, eles utilizaram o manual da calandra funcional, as observações do dia a dia e, principalmente, as experiências de tentativa e erro ao longo do início da operação. Para a infraestrutura, foram utilizadas matérias-primas de outras oficinas (principalmente de veículos), os rolos da segunda calandra comprada e a carcaça de uma outra calandra desativada, que havia sido trazida de uma empresa da região.

O resultado dessa empreitada surpreendeu o supervisor da área, pois não foram requisitados novos motores, rolos, ou qualquer outra peça. A Figura 18 abaixo mostra como a calandra era, o equipamento novo em construção e o resultado final.



Figura 18 - A esquerda, foto da calandra antiga. No meio, o equipamento em construção, e a direita o resultado final. Apenas os rolos permaneceram os mesmos no processo. Fonte (da esquerda para direita): primeira foto do acervo do primeiro pesquisador, segunda e terceira fotos tiradas pelo autor em visita a campo.

As modificações funcionaram e a calandra passou a ser utilizada na fabricação das peças de suporte da área. Essa (re)criação trouxe uma economia financeira significativa, pois, além de não gastar com uma nova máquina, o gargalo da produção foi solucionado. Talvez esse tenha sido o exemplo mais relevante de como os operadores, munidos de tempo para pensar a atividade e da experiência adquirida com o processo, conseguiram gerar redução de custos para a empresa.

4.6.3 Melhorias no processo de montagem: outras inovações vistas no campo

Além de melhorias nos equipamentos já existentes, os operadores também desenvolveram uma série de modificações nas ferramentas de trabalho. Essas ferramentas foram desenvolvidas não só na oficina de fabricação, mas também na montagem das virolas, uma vez que o escopo de trabalho, depois das modificações organizacionais, englobava as duas funções. Esse aumento do escopo representou novas barreiras de produtividade a serem superadas, uma vez que, para manter a produtividade global, seria necessário melhorar a atividade de montagem. Essa melhoria foi conseguida, em boa parte, pelos novos artefatos construídos para facilitar o trabalho.

Um exemplo foi o desenvolvimento de uma ferramenta para substituir o sistema de gabaritos na montagem do eletrodo. Esse gabarito guia a descida da virola, que é manuseada até a área dos eletrodos por meio de uma ponte rolante. Essa inovação representou uma diminuição no

tempo de encaixe da virola (estima-se que passou de cerca de 30 minutos para menos de 10 minutos). A figura 19 abaixo mostra o antes e o depois, comparando as ferramentas utilizadas.



Figura 19 - Na imagem à esquerda é possível ver o grande número de gabaritos que eram utilizados. Com a modificação da foto à direita, o encaixe do novo eletrodo foi facilitado e consequentemente o tempo foi reduzido. Fonte: primeira foto cedida do acervo do primeiro pesquisador e segunda foto tirada pelo autor em visita a campo.

Outra modificação muito importante no processo de montagem foi a substituição dos anéis de sustentação da virola. No início do processo, eram utilizados dois anéis por virola montada. Cada um era formado por duas meias-luas, com um parafuso fixando-as (ver figura 20 abaixo). Esse anel era considerado muito problemático pelos trabalhadores, por ser de difícil encaixe, utilizar muitos parafusos e quebrar com frequência. Em um episódio relatado por um dos operadores, o parafuso foi mal encaixado, e, no transporte pela ponte rolante, o anel escorregou da virola e caiu no vão do piso da área dos eletrodos, parando no piso zero da fábrica (uma distância do tamanho de todo o forno, fazendo com que o incidente fosse considerado gravíssimo pela empresa).

A partir desse incidente, a EP proibiu a reutilização de parafusos e exigiu a troca constante dos anéis. Assim, chegou-se, em dado momento, a ter mais de sessenta anéis em estoque, e a utilizar cerca de cento e vinte novos parafusos todo mês. Isso representava um desperdício financeiro com material, além de consumir tempo de trabalhadores com atividades de mecânica e almoxarifado.

A solução para isso partiu do Pedro, que, no momento, era o operador com maior experiência em virolas. Para reduzir o material utilizado e o risco da operação, ele resolveu criar um dispositivo que se encaixasse sem a necessidade de parafusos. O curioso é que, para tanto, ele se baseou na trava da estampadeira, que funciona com uma alavanca de pressão.

O conceito foi replicado em um anel que fechava por pressão, e não mais por sistema de rosca. O resultado trouxe uma redução muito significativa no número de anéis utilizados, passando de sessenta para sete peças, e eliminou a necessidade de parafusos. A alteração trouxe ganhos financeiros com economia de material, além de uma maior confiabilidade e segurança para o trabalho. A figura 20 abaixo mostra as diferenças entre os dois anéis utilizados.



Figura 20 - O anel antigo, à esquerda, necessitava de três a quatro pessoas para ser montado, além dos desperdícios já citados. A nova ferramenta, à direita, trouxe ganhos financeiros, ergonômicos e de segurança. Fonte: primeira foto cedida do acervo do primeiro pesquisador e segunda foto tirada pelo autor em visita a campo.

Um aspecto interessante na análise das modificações feitas na área é o efeito que uma pequena mudança pode trazer ao processo. Os anéis tinham como objetivo secundário dar estabilidade para as virolas no transporte logístico entre a oficina de fabricação e o forno de redução. Com a redução no número de anéis em estoque após as modificações, foi necessário pensar em algum dispositivo que ajudasse no transporte até a área do forno.

Dada essa necessidade, os operadores desenvolveram um apoio em que as virolas se encaixariam, ficando estáveis no transporte. Isso possibilitou também que a movimentação no estoque fosse feita por meio de empilhadeiras. A ferramenta é uma espécie de palete metálico, que melhorou também o giro do estoque, pois as virolas apoiadas na ferramenta são as primeiras a subir para o forno. A figura 21 abaixo mostra essa nova ferramenta.



Figura 21 - Os suportes das beiradas ajudam a dar estabilidade às virolas apoiadas, e os furos na parte inferior permitem a movimentação por empilhadeiras. Fonte: foto tirada pelo autor em visita a campo.

Esses são apenas alguns exemplos de ferramentas criadas na área de virola, e foram selecionados com base na relevância citada pelos operadores. São inovações criadas pelos próprios operadores e têm uma relação próxima com a literatura discutida no início do texto. Essas relações serão resumidas e discutidas no próximo tópico, aproveitando para tentar resumir os momentos do estudo de caso e destacar as contribuições que eles trazem para a discussão de aprendizado na indústria.

Capítulo 5. Discussão

A partir do estudo de caso, é possível retornar à literatura e discutir aspectos da teoria frente a prática vista na oficina de virolas. Esse processo será especialmente interessante no presente estudo, pois, diferentemente das literaturas vistas (especialmente em CA), grande parte do acompanhamento foi feito *in loco*, seja na parte inicial com o apoio dos materiais gerados pelo pesquisador que estava na época, seja na parte final com a presença do auto do texto. Para ajudar nessa discussão, os tópicos serão divididos de acordo com os momentos do próprio estudo de caso, retomando em cada um deles a relação com a literatura e as principais contribuições do estudo de caso.

1º Momento - do “complexo” ao “simples”, terceirizando o problema

O primeiro elemento importante de discussão diz respeito ao início da produção, com as dificuldades na EC. Relembrando um pouco o caso, a terceirização inicial da produção acabou apresentando problemas de qualidade não esperados, fazendo com que o primeiro contato dos operadores contratados com a atividade de virolas fosse ainda na fábrica da empresa terceira. Dentro dessa equipe, considerando tanto os da EP quanto os da EC, apenas o consultor, que não tinha papel direto na produção, vinha de experiências anteriores com virolas em empresa de processo pirometalúrgico de ferro-níquel. A visita de duas semanas teve como resultado apenas uma peça pronta, gerando uma impressão de que não seria possível atingir a produtividade esperada.

Alguns aspectos da literatura ajudam a analisar essa primeira passagem do caso e trazem importantes discussões sobre aprendizado na indústria. Talvez a principal seja a relação da experiência dos envolvidos em outros contextos de produção e qual resultado isso teve na produção. Quando Ribeiro (2013) traz o conceito de ‘níveis de similaridade’ para qualificação da experiência, seu objetivo é mapear dentro da operação as pessoas que já realizaram atividades similares em contextos similares de produção. Esse mapeamento ajuda, em última instância, a entender a velocidade em que as novas atividades empreendidas trarão resultados na produção, dada a semelhança de contexto e de habilidades necessárias.

Na prática, o caso mostrou um aspecto interessante desse conceito que é quando os operadores, acostumados com práticas de outro contexto de produção (caldeiraria pesada), acabam replicando as técnicas usuais a uma peça de caldeiraria fina (virola), gerando problemas de qualidade que eles não esperavam. O papel do consultor na produção em conjunto com a

terceirizada também traz uma reflexão importante sobre os *níveis de similaridade*, que diz respeito à escolha dos métodos de produção. Antes da aquisição da habilidade motora em soldar ou calandrar uma virola, o primeiro passo para a fabricação é escolher qual o método mais adaptado ao tipo de material e produto que será produzido. Essa é uma decisão diretamente correlacionada à experiência específica dos indivíduos com cada tipo de produto que uma caldeiraria pode produzir. Ou seja, existem vários tipos de “caldeireiros” e empresas de caldeiraria, e é somente qualificando que tipo de caldeiraria e produto que está se falando que se pode encontrar o “caldeireiro correto”. É essa experiência que o consultor tinha e que permitiu ao grupo a alteração de métodos de produção na EC, como a colocação de sobremetal e a solda da peça na vertical. A partir da escolha do melhor método, o domínio da habilidade motora se mostrou questão de tempo com a aprendizagem prática, caindo na clássica curva de aprendizado que relaciona a performance com o número de repetições.

Dentro dos artigos em CA, essa necessidade já havia aparecido nos resultados do experimento conduzido por Jaber, Kher e Davis (2003), que levou os autores a proporem a criação de um *fator de similaridade* entre tarefas para avaliar o aprendizado. Relacionando esse fato ao conceito de níveis de similaridade, ambos tentam encontrar uma maneira de qualificar a experiência para entender o seu efeito nos tempos para atingir certa produtividade. Portanto, pensando especificamente na pesquisa de Jaber, Kher e Davis (2003), esse conceito pode ser também um fator na própria modelagem matemática das curvas, tendo possíveis melhorias nas previsões de produtividade dadas por elas.

O primeiro momento da produção de virolas também traz discussões sobre as diversas fontes de aprendizado que existem em uma operação. Esse foi um parâmetro usado, inclusive, para dividir as literaturas em CA. Uma dessas fontes, como já analisado, acaba sendo exatamente a própria experiência já acumulada pelos indivíduos. Na operação feita na EC foram vistas pelo menos outras duas fontes: a aprendizagem prática e a experimentação. Em Terwiesch e Bohn (2001), os autores já discutiam essas como as principais fontes de aprendizado em um *ramp-up*, tentando formular um modelo que pudesse colocar fatores econômicos na decisão das escolhas de parada de produção, fazendo disso um *trade-off* econômico. Outro conceito que se aplicaria ao contexto da produção na terceirizada é o de *ciclos do aprendizado* de Zangwill e Kantor (2000), pois a própria história contada no estudo de caso mostra as divisões desses ciclos (que também poderiam ser chamados de *ciclos de experimentação*) em cada etapa da fabricação de virolas.

Parte do longo período para produção da primeira peça na terceirizada está relacionada diretamente a essas paradas para experimentação de outros métodos e de testes de outros parâmetros na operação. De novo, pode-se destacar o sobremetal, que foi sendo testado com relação ao tamanho para ver-se qual gerava o melhor resultado no formato da peça, e também os testes com as posições e a regulagem da solda. De fato, as técnicas advindas desses momentos se tornaram um padrão repetido até pelo menos o fim da pesquisa de campo, o que ajuda a corroborar que as paradas de produção para testes e experimentos são uma fonte importante de aprendizado no *ramp-up*.

Uma outra fonte de aprendizado vista no estudo de caso foi a aprendizagem com a visita à empresa experiente. Partiu do consultor a sugestão de se visitar uma empresa experiente em virolas, para que os operadores vissem uma oficina com a produção estabilizada. O “saber que era possível” fabricar virolas com a produtividade requerida sem dúvidas teve importância destacada na história da oficina. Essa importância está intimamente ligada ao conceito de medida de dificuldade de aquisição de uma habilidade, apresentado por Pinch, Collins e Carbone (1996). Portanto, o momento em que os operadores souberam que uma oficina de virolas poderia sim atender os volumes requeridos foi uma parte importante da aquisição da habilidade de se fabricar virolas.

Além disso, a visita trouxe dois aprendizados específicos importantes que acabaram sendo replicados na oficina da empresa: o saber o que é qualidade em virolas e dispositivos para facilitar e acelerar a produção. Isso é sugerido em Collins (2001) ao falar sobre o intercâmbio em visitas técnicas para aprender medidas e a utilizar aparatos técnicos.

A questão da “super qualidade” das virolas produzidas até então teve grande relevância para a produtividade na oficina. Como foi citado no estudo de caso, o que os operadores acreditavam ser qualidade para as virolas era diferente do que a empresa experiente aplicava na prática da operação, sendo que essa empresa já detinha mais de vinte anos de experiência no segmento. Assim, pode-se considerar que a visita ajudou na produtividade da oficina, pois estava para se gastar um tempo excessivo tentando atingir um nível de acabamento desnecessário para a utilidade da peça.

Com relação aos dispositivos técnicos, incluindo o de soldagem, o seu desenvolvimento veio de dispositivos vistos nessa visita. Isso demonstra o valor que a visita teve para os operadores, que acabaram tirando várias ideias para problemas que eles enfrentaram na fabricação na terceirizada e que, na empresa experiente, já tinham motivado a criação de dispositivos e

ferramentas. Isto é, os profissionais da EP se beneficiaram de soluções já dadas por aqueles que enfrentaram os mesmos problemas vários anos antes.

Todos esses aspectos juntos ajudaram os operadores a desmistificar a dificuldade na fabricação de virolas. Foi muito interessante ver nas verbalizações como era utilizada a dualidade “simples x complexo” pelos envolvidos, onde a mesma operação que parecia “complexa” nos dias em que se estava tentando fabricar peças na EC mostrou-se “simples” na oficina da EE. Esse 1º momento da oficina de virolas destacou várias fontes de aprendizado que acabariam afetando a produção na oficina da EP quando essa fosse iniciada. Antes, porém, houve um longo período de adaptação de maquinário, que também traz várias contribuições sobre como funciona o aprendizado no *ramp-up* de uma oficina no que se refere a equipamentos.

2º momento - assumindo a produção: aspectos antes desconsiderados

Depois de entender o que é uma virola “aceitável” e que seria possível produzir o solicitado, era hora de voltar novamente o olhar para a construção da oficina. Uma das etapas dessa construção era exatamente a contratação e treinamento dos operadores, que, em parte, aconteceu com as visitas e com o contato de fabricação na EC. É interessante que os novos operadores contratados já acabaram aprendendo com as experiências passadas pelos mais longevos que participaram do início do processo. Isso foi aparecendo à medida que a pesquisa foi se desenvolvendo até a estabilização da produção, ficando aqui um paralelo com as discussões de Reagans, Argote e Brooks (2005) sobre aprendizado em grupos e organizações, em que, com uma organização mais experiente, os novatos tendem a aprender as funções de maneira mais rápida. O que ainda não tinha sido vivido até então pela equipe da oficina, porém, era a prática de operação de virolas, em especial o que concerne a compra de equipamentos e a montagem do maquinário para a produção interna.

Para o início da fabricação, era necessário que a energia elétrica fosse ligada e que os equipamentos fossem adquiridos e instalados. Existiam, portanto, vários departamentos além da própria operação da empresa que precisariam ser envolvidos para que isso pudesse ocorrer: área de suprimentos, utilidades e áreas de gestão. Foi nessa etapa que vários problemas aconteceram, o que resultou na demora de cerca de um ano até que a primeira virola fosse fabricada.

No modelo proposto por Linton e Walsh (2013), os autores já apontavam o impacto da relação entre diferentes áreas da empresa na produtividade global. A produtividade na oficina de virolas dependia de aprendizados em cada uma dessas distintas áreas citadas. As áreas operacionais

havia aprendido muito sobre métodos e processo de fabricação no primeiro momento das visitas, mas ainda não eram capazes de prover uma especificação de equipamentos detalhada para a área de compras. O mesmo pode se falar sobre as áreas de gestão responsáveis pela autorização e validação de compras, que não tinham experiências anteriores na montagem de oficinas de virolas. A área de compras, por sua vez, passava pela primeira experiência na compra de equipamentos para fabricação de virolas, portanto ainda precisava prospectar fornecedores para o fornecimento. Vale lembrar que esse departamento é integrado para todas as operações da EP e fica em Belo Horizonte, a cerca de 2.000km da planta industrial. Além disso, esse era o primeiro empreendimento em ferro-níquel; assim, não existia histórico de compras de equipamentos para atender esse segmento.

Destaca-se que também se aplica nesse contexto a discussão de similaridade de experiências, uma vez que o universo da indústria de ferro-níquel era novidade para a maioria das pessoas dos departamentos citados. Tanto isso se mostrou verdadeiro que, quando os envolvidos aproveitaram os materiais e especificações coletados na empresa experiente, o processo de compra foi facilitado e os equipamentos trazidos se mostraram mais adaptados para a *produção de virolas para fornos de redução de ferro-níquel*. Dentre as barreiras apontadas por Collins (2001) no intercâmbio em visitas técnicas está o fato de que o anfitrião muitas vezes não se dá conta de que precisa falar sobre alguns aspectos importantes da fabricação e o visitante, por sua inexperiência, não faz algumas perguntas importantes (*mismatched salience*). A compra de equipamentos foi um desses casos em que as áreas de gestão e operação não achavam que esse poderia ser um eventual problema na montagem da oficina, portanto não se aprofundaram nesse assunto durante a visita. Mais tarde, com os problemas enfrentados, acabaram voltando a uma empresa experiente para “copiar” o equipamento utilizado lá, o que acabou funcionando bem.

Antes desse processo de pedir especificação para a empresa experiente, alguns outros equipamentos foram comprados na expectativa de que seriam apropriados para a fabricação de virolas. O primeiro, com muita tecnologia embarcada, acabou sendo grande para o tamanho do material e da virola, além de apresentar tecnologias desnecessárias para o processo de fabricação. Como fazer virola é um processo repetitivo, não era necessário um equipamento com regulagem controlada por tecnologia, por exemplo. A segunda calandra, por sua vez, tinha um dimensionamento apropriado ao material da virola, mas não ao seu processo na indústria. O fluxo produtivo passado pela calandra em uma oficina de virolas é intenso e contínuo, e o equipamento comprado não era preparado para esse tipo de utilização. Isso tudo foi sendo

adaptado para a produção no contexto de virolas, até que fosse fabricada a primeira virola, mesmo antes de se possuir um equipamento mais adequado.

Foi com essa adaptação do maquinário e da organização das pessoas que a produção de virolas foi se estabilizando. Para Leonard-Barton (1988) a implementação de uma indústria é exatamente a fase de adaptação mútua entre o subsistema social – com aprendizado dos operadores e a organização do trabalho – e subsistema técnico – composto pelas ferramentas e pelos equipamentos. Foi isso que aconteceu na oficina de virolas, uma adaptação dos operadores, que tinham experiências não similares ao contexto de fabricação da peça, e também adaptação do maquinário, seja por meio da compra de outros mais apropriados ou na troca e regulagem de peças dos que estavam na oficina.

De maneira mais ampla na empresa, é importante situar que essa adaptação ocorreu em todos os seus subsistemas. Era uma adaptação de processos em um novo contexto de indústria pirometalúrgica de ferro-níquel, o que foi ocorrendo de maneira gradativa em toda a planta industrial. Nesse contexto, a oficina de virolas foi um reflexo (ou um espelho) de todo o *ramp-up* da planta.

3º Momento - a (re)criação e a inovação no chão de fábrica

Após a adaptação dos processos e equipamentos, a oficina de virolas chegou a fase de estabilização de sua produção. A quantidade de virolas produzidas por mês passou a ser estável e controlada por parâmetros de estoque de segurança. Por mês, eram fabricadas cerca de 40 virolas, divididas em metas igualitárias para as três equipes que dividiam os turnos. Além da produção desse montante de virolas, as equipes também produziam subprodutos para estoque (costelas, *back* metálicos e tubos) e montavam as virolas nos eletrodos à medida que estes iam sendo consumidos.

Essas funções, após os anos de aprendizado na oficina, passaram a não ocupar todo o tempo dos operadores nas rotinas de trabalho, principalmente da equipe mais antiga e experiente. O tempo que acabava livre pelo aumento da produtividade, combinado com a experiência dos operadores e com o aval para modificações dado pelo supervisor, fez com que várias inovações incrementais fossem realizadas na oficina. Essas inovações abrem uma importante discussão sobre o aprendizado, visto que eram demonstrativos de que, mesmo após a “estabilização” dos níveis de produção, novos dispositivos estavam sendo criados na operação.

Esses movimentos pós-estabilização da produção são pouco discutidos na literatura. Rosenberg (1983) já citava a aprendizagem na prática como uma fonte de inovação tecnológica usualmente pouco reconhecida. Para o autor, essas inovações são um subproduto do aprendizado. Isso foi comprovado empiricamente pelo caso, em uma equação interessante que combinava a experiência da equipe mais experiente, a autonomia dada pelo supervisor e pela nova organização industrial e principalmente o tempo livre gerado pelo aumento da produtividade. No exemplo mais extremo visto no estudo de caso, essa fórmula culminou na recriação de um equipamento de calandra, todo feito sem custos relevantes e totalmente executado pelos operadores. O estudo de caso traz, nesse sentido, a necessidade de se discutir e ampliar o estudo do aprendizado para além das fronteiras da produtividade. Esse lugar pouco explorado das modificações e inovações feitas pelos operadores deve tomar um lugar de destaque nas discussões do aprendizado na indústria, pois existe nesse local uma correlação que pode não ser capturada pelos modelos tradicionais, especialmente no campo de CA, quando essas novas capacidades produtivas não forem capturadas por questões de metas de produção em um período de tempo (que se aplica ao estudo de caso, quando olhamos os dados de produção e a quantidade de virolas produzidas por mês não se altera em cada equipe).

Na proposta do modelo de processo de aprendizagem de Adler e Clark (1991), essa discussão ainda não estava clara. Os autores falam em seu modelo que o aprendizado, na prática, acaba motivando ou inibindo outras duas fontes de aprendizado: treinamentos e modificações de engenharia. Essas modificações de engenharia, para eles, seriam os tempos gastos por engenheiros desenvolvendo sistemas que modificariam o produto e a produção, com base nos dados gerados pela produção até o momento. O que vimos no estudo de caso é que isso acontece de fato, não necessariamente no departamento de engenharia de empresa, mas também a partir dos próprios operadores. Nesse caso, o que motiva uma inovação são as barreiras e problemas encontrados na prática, que despertam neles o direcionamento de um esforço de modificação para a melhoria do trabalho. Com exceção da plataforma 'copiada' da empresa experiente, todas as inovações incrementais vistas no trabalho tiveram em comum a necessidade de melhorar a prática do trabalho. Vendo as inovações e modificações de engenharia por esse ângulo, o que fica do estudo de caso é que essas barreiras dificilmente seriam capturadas por quem está distante da operação, pois eles não enfrentam tais problemas de quem está próximo da ação.

O estudo de caso suscita discussões importantes sobre o aprendizado na indústria, desde os processos na construção da oficina até essa última análise sobre as inovações incrementais. Quando a história da oficina de virolas é contrastada com a literatura, alguns possíveis fatores

que levam às formas vistas nas CA são corroborados empiricamente, e outros, pouco vistos na literatura, acabam sendo adicionados. São esses fatores e essas análises que irão formar as conclusões do texto, apontando para práticas em processos de aprendizagem na indústria e para direcionamentos de pesquisas futuras que poderiam ser exploradas.

Capítulo 6. Conclusão

Ao se referir aos estudos tradicionais em CA, Linton e Walsh (2013) afirmam que as métricas agregadas das curvas de aprendizado “mascaram seus complexos processos subjacentes” (p.10). O estudo de caso realizado ajuda a mostrar exatamente quais são esses complexos processos subjacentes que existem no aprendizado na indústria, e qual a sua relação com o sucesso de um *ramp-up*. Uma abordagem estritamente baseada em curvas de previsão de produção acaba negligenciando esses processos e o que se perde com isso é a oportunidade de se alterar o curso e a velocidade até a estabilização da produção. Quando as fontes de aprendizado são invisíveis e não exploradas, a gestão do processo produtivo acaba à deriva do tempo para conseguir chegar aos níveis esperados de produtividade⁴.

Os estudos críticos sobre as CA apontam para essa direção, de abrir a caixa preta da produção e começar a entender *como* as pessoas aprendem no trabalho. É no diálogo entre esses estudos e as outras literaturas sobre o aprendizado que parece estar o caminho para formular modelos que efetivamente possam alterar o ritmo da produção. A partir disso, seria possível realizar uma boa mescla entre métodos, deixando as CA tradicionais como um direcionamento quantitativo estratégico para a empresa, enquanto o processo de aprendizagem seria guiado pelos fluxos e pelas fontes de aprendizado na indústria. Como o próprio Linton e Walsh (2013) também afirmam, o método tradicional de CA acaba sendo usualmente utilizado por gestores por ser de fácil entendimento e visualização, e isso não deve ser descartado, mas sim completado com outros estudos mais específicos sobre *como* se dá o processo de aprendizagem na indústria.

Entrando na discussão sobre o processo de aprendizagem, o estudo de caso também traz contribuições importantes. De maneira geral, os modelos vistos nos estudos críticos em CA abordam quatro fontes de aprendizado: a (1) aprendizagem prática, os (2) experimentos e testes realizados na produção, (3) treinamentos e (4) as modificações feitas pela engenharia. Nesse sentido, o estudo de caso traz uma importante contribuição à medida que traz reflexões sobre

⁴ Durante o curso da pesquisa mais ampla na planta da EP, foi feito um convite a uma outra empresa do mesmo segmento para que estudo semelhante fosse feito sobre o seu processo de *ramp-up*. A resposta a esse convite foi a seguinte: “A proposta não se aplica a *planta 1*, o *ramp-up* dessa planta foi muito simples, a *empresa* tem tremenda experiência em FeNi e curva de McNulty sequer foi considerada. Aplicamos sim o estudo do McNulty para o projeto da *planta 2* e foi assumido a curva de No 02 e **está batendo dentro do possível**” Engenheiro responsável pela gestão de processos da empresa (ênfase do autor. Os nomes das plantas e da empresa foram substituídos para preservar a confidencialidade do contato). A resposta do engenheiro remete a discussão do presente estudo de caso, demonstrando que o estudo de *ramp-up*, na prática, pode acabar se atendo (e possivelmente se limitando) ao acompanhamento de curvas sugeridas por modelos.

uma outra fonte nesse processo. Seja a experiência individual, que acaba guiando as ações na produção, ou a experiência de outras empresas, é importante considerar essa *capitalização da experiência* como uma fonte do aprendizado, de maneira que ela seja estruturada e pensada estrategicamente na empresa. Assim, a presente pesquisa sugere que uma quinta fonte de aprendizado seja considerada: a (5) capitalização das experiências.

Esse pensar a experiência como um capital pode ser feito com base no conceito de *níveis de similaridade* de Ribeiro (2013). O importante é que a empresa consiga mapear e qualificar essas experiências nos diferentes departamentos, de forma a atuar com base nesse mapa. Isso tem implicações em diferentes processos e investimentos, como a contratação de pessoal com a exata experiência necessária, a alteração da organização do trabalho e a intensificação de visitas técnicas a empresas experientes (também utilizando-se a ideia de similaridade para a escolha dessas). Junto com as outras fontes já reconhecidas, a *capitalização da experiência* compõe as *cinco fontes de aprendizado* que deveriam estar em um modelo sobre o processo de aprendizagem, visando auxiliar gestores a gerir o aprendizado dentro de uma indústria, especialmente no momento de *ramp-up* da planta.

Outra função desse olhar para a experiência é conseguir identificar as interfaces de atuação para garantir o aumento de produtividade. Como foi visto no caso, a compra e adaptação dos equipamentos é uma fase crítica no projeto de construção de uma oficina. Entender o estágio de aprendizado como situado em cada um dos departamentos dessa interface é importante para os processos de decisão. O que esse momento do caso demonstrou, e que também deve ser entendido em um modelo de aprendizado, é que a análise das cinco fontes de aprendizado deve ser contextualizada em cada departamento ou função da produção. Em termos de pesquisas futuras, o estudo do aprendizado nas interfaces, especialmente para áreas de compras, apareceu no caso como uma área interessante a ser explorada.

Por último, a pesquisa mostrou a importância de se ampliar o conceito de aprendizado na indústria, separando-o do conceito de produtividade. Dado que temos diversas fontes de aprendizado que afetam o desenvolvimento de uma indústria, são diversos também os indicadores de evolução dessa aprendizagem com o tempo. O indicador mais utilizado historicamente é o de produtividade com o tempo, que sem dúvidas captura o resultado de vários movimentos de aprendizado, mas ele não pode ser o único. Avaliar a quantidade e relevância de modificações e inovações incrementais feitas na operação também é um indicador importante de como as pessoas estão aprendendo e direcionando a produção. Essa avaliação deve cobrir diferentes departamentos e hierarquias, pois existe um aprendizado em engenharia

que reflete em inovações, mas existe também a inovação como subproduto da prática dos operadores e trabalhadores técnicos. Conseguir ter um olhar para todos esses focos de inovações na empresa também possibilita avaliar a evolução do aprendizado.

Como colocado na discussão da literatura, existia uma lacuna nos estudos sobre aprendizado na indústria para entender *in loco* como esse processo ocorre, e não *a posteriori*. Foi buscando preencher essa lacuna que o presente estudo foi idealizado metodologicamente e realizado na prática. As contribuições trazidas pela pesquisa devem ajudar a construir modelos sobre o processo de aprendizagem mais aderentes à realidade industrial, além de já apontar para práticas que devem ajudar os gestores de empreendimentos industriais a não só prever melhor o planejamento de sua produção, mas também a saber *como* influenciar diretamente na velocidade do processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- Adler and Clark (1991). *Behind the learning curve: a sketch of the learning process*. Management Science Vol. 37, Nº 3, p. 267-281
- Anzanello, M.J., & Fogliatto, F.S. (2011). *Learning Curves Models and Applications: Literature Review and Research Directions*. International Journal of Industrial Ergonomics, 41(5), 573-583
- Bailey and Gupta (1999). *Judgement in Learning-curve Forecasting: A Laboratory Study*. Journal of Forecasting J. Forecast. 18, 39±57 (1999)
- Collins, H (2001). *Tacit Knowledge, Trust, and the Q of Sapphire*. Social Studies of Science, 2001a, n. 31, v. 1, p. 71-85.
- Eelke Wiersma, (2007). *Conditions That Shape the Learning Curve: Factors That Increase the Ability and Opportunity to Learn*. Management Science 53(12):1903-1915.
- Epple, Argote and Devadas (1991). *Organizational Learning Curves: A Method for Investigating Intra-Plant Transfer of Knowledge Acquired Through Learning by Doing*. Organization Science, Vol. 2, No. 1, Special Issue: Organizational Learning: Papers in Honor of (and by) James G. March (1991), pp. 58-70.
- Ferioli, Schoots and Zwaan (2009). *Use and limitations of learning curves for energy technology policy: A component-learning hypothesis*. Energy Policy 37 (2009) 2525–2535
- Jaber, Kherb e Davids (2003). *Countering forgetting through training and deployment*. Int. J. Production Economics 85 (2003) 33–46
- Korytkowski, P (2017). *Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting*. Expert Systems With Applications 77 (2017) 226–235
- Leonard-Barton, D. (1988). *Implementation as mutual adaptation of technology and organization*. Research Policy 17 (1988) 251-267 North Holland
- Linton and Walsh (2013). *Extracting Value from Learning Curves: Integrating Theory and Practice*. Creativity and Innovation Management Volume 22 Number 1 2013
- Melissa A. Schilling, Patricia Vidal, Robert E. Ployhart, Alexandre Marangoni, (2003) *Learning by Doing Something Else: Variation, Relatedness, and the Learning Curve*. Management Science 49(1):39-56.
- McNulty, T (2004). *Minimization of delays in Plant Startups*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration; Plant Operators' Forum 2004 (113 – 120)
- Nembhard and Uzumeri (2000). *Experiential learning and forgetting for manual and cognitive tasks*. International Journal of industrial ergonomics 25 (2000) 315-326
- Nembhard and Uzumeri (2000). *An individual-based description of learning within an organization*. IEEE Transactions on Engineering Management, VOL. 47, no. 3, August 2000

- Pananiswalm and Bishop (1991). *Behavioral implications of the learning curve for production capacity analysis*. International Journal of Production Economics, 24 (1991) 157-163
- Pinch, T, Collins and Carbone, L (1996). *Inside knowledge: second order measures of skill*. The Editorial Board of The Sociological Review 1996 (p. 163 to p.186)
- Ribeiro R. (2007a). *Knowledge transfer*. Cardiff: Cardiff University, 2007. Tese (Ph.D.) – School of Social Sciences. Cardiff University, (Não publicado).
- Reagans, Argote and Brooks (2005). *Individual Experience and Experience Working Together: Predicting Learning Rates from Knowing Who Knows What and Knowing How to Work Together*. Management Science. 51, No. 6, June 2005, pp. 869–881
- Ribeiro, R. (2013a) *Tacit knowledge management*. Phenomenology and the Cognitive Sciences, 12, 337–366.
- Ribeiro, R. (2013a). *Levels of immersion, tacit knowledge and expertise*. Phenomenology and the Cognitive Sciences, 12, 367–397.
- Ribeiro, R (2014). *The Role of Experience in Perception*. Hum Stud (2014) 37:559–581
- Shafer, Nembhard and Uzumeri (2001). *The Effects of Worker Learning, Forgetting, and Heterogeneity on Assembly Line*. Productivity Management Science Vol.47, No.12, December 2001 pp.1639–1653
- Tarozzi, M. (2011). *O que é grounded theory? Metodologia de pesquisa e de teoria fundamentada nos dados*. Trad. de Carmen Lussi, 2011, Petrópolis, RJ, Vozes.
- Terwiesch and Bohn (2001). *Learning and process improvement during production ramp-up*. Int. J. Production Economics 70 (2001) 1-19.
- Uzumeri and Nembhard (1998). *A population of learners: A new way to measure organizational learning*. Journal of Operations Management 16 _1998. 515–528
- Zangwill and Kantor (2001). *The learning curve: a new perspective*. Intl. Trans. in Op. Res. 7 (2000) 595-607
- Yelle, L.E (1979). *The learning curve: historical review and comprehensive survey*. Decision Science, Vol.10, p. 303-330
- Wai Fong Boh, Sandra A. Slaughter, J. Alberto Espinosa, (2007) *Learning from Experience in Software Development: A Multilevel Analysis*. Management Science 53(8):1315-1331.
- Willard I. Zangwill, Paul B. Kantor, (1998) *Toward a Theory of Continuous Improvement and the Learning Curve*. Management Science 44(7):910-920.
- Wittgenstein, L. (1976 [1953]). *Philosophical investigations*. Oxford: Blackwell.
- Wright, T. P. (1936). *Factors Affecting the Cost of Airplanes*. Journal of the Aeronautical Sciences, London, v. 3, p. 122-128, 1936.